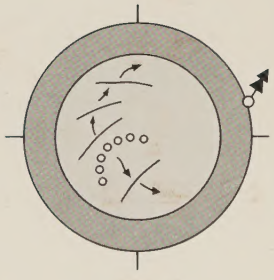
STRIAE

HYDROGEOLOGICAL MAPPING IN SWEDEN, *A STUDY OF THE PRESENT SITUATION AND A PROPOSAL FOR FUTURE DEVELOPMENT*

ÅKE MÖLLER



1979

VOLUME 9

Uppsala 1978

Issued by ..... SOCIETAS UPSALIENSIS PRO GEOLOGIA QUATERNARIA

Societas Upsaliensis Pro Geologia Quaternaria is an association of Quaternary geologists at the University of Uppsala, Sweden. The Society has its board at the Department of Quaternary Geology of the University.

Striae is the monograph series for Quaternary studies at Uppsala and the series will contain dissertations and other papers of monograph caracter, primarily from Uppsala.

The membership of the *Societas Upsaliensis Pro Geologia Quaternaria* has been divided into two classes, one for "home members" and the other for members from outside the Department of Quaternary Geology at Uppsala. Both classes are entitled to subscribe to the current and the forthcoming issues of *Striae* at two-thirds of the regular price (but at a minimum rate of 15 and a maximum rate of 50 SKr + postage at present).

Applications for membership and subscriptions to *Striae* should be addressed to *Societas Upsaliensis Pro Geologia Quaternaria,* Department of Quaternary Geology, Box 555, S-751 22 Uppsala, Sweden. There is no membership fee for members from outside Uppsala.

Members interested in having contributions published in *Striae* may contact the Editor for further information on publishing costs and publishing policy.

Striae, a Monograph Series for Quaternary Studies

Editor Lars-König Königsson

Distributor Alf Linnfors

The authors alone are responsible for the scientific contents of their contributions.

STRIAE 9

Hydrogeological Mapping in Sweden, *a Study of the Present Situation and a Proposal for Future Development*

By
Åke Möller
fil.lic., Skånel.

Doctoral Dissertation
to be Publicly Examined in the Lecture Hall of the Institutes of Geography and Geology on January 17, 1979, at 10 a.m. for the Degree of Doctor of Philosophy (according to the Royal Proclamation No. 327, 1969)

SOCIETAS UPSALIENSIS PRO GEOLOGIA QUATERNARIA

UPPSALA 1978

ISBN 91-7388-008-6
ISSN 0345-0074

© Åke Möller

Printed in Sweden 1978
Textgruppen i Uppsala AB

Hydrogeological mapping in Sweden, *a study of the present situation and a proposal for future development*

STRIAE

Möller, Å., 1978 12 10: Hydrogeological mapping in Sweden, a study of the present situation and a proposal for future development. *Striae*, Vol. 9, 39 pp. Uppsala. ISBN 91-7388-008-6, ISSN 0345-0074.

The most commonly used means of presenting information on the occurrence, movement, quantity and quality of groundwater uses hydrogeological maps. One of the most important problems associated with the development of such maps concerns the consumer group(s) for which the maps are intended, as this, to a large extent, regulates the information to be incorporated. Furthermore the quantity and quality of the existing geological maps are highly significant as they must serve as a major source of information for the hydrogeological maps.

In this study the development of hydrogeological maps in Sweden is discussed against the background of these and other problems. They are also compared with hydrogeological maps developed by other European countries. The hydrogeological map models presented in 1977 by the Geological Survey are also being discussed and compared with models proposed by the author.

The conclusion reached in the study is that the official hydrogeological mapping should concentrate on two separate series a) a less detailed map using the scale of 1:250 000 and b) a more detailed map to a scale of 1:50 000. In the latter the hydrogeological conditions of the bedrock and the overburden should be printed on different sheets. Furthermore: current Swedish geological map models are often of limited usefulness in hydrogeological mapping as the majority only show the situation at the ground surface.

Mr. Åke Möller, Department of Quaternary Geology, Uppsala university, Box 555, S-751 22 Uppsala, Sweden.

Groundwater as a source of potable water is becoming more and more important in Sweden, primarily in connection with rural water supply. In many areas groundwater is the only available alternative, as surface waters in general tend to be polluted and the cost of treatment, pipelines, etc., effectively prohibits or limits their use. This applies particularly to small towns, farms, single households, etc., with limited financial capacity. The Nature Conservancy Board's regulations concerning surface waters for recreational purposes also considerably restrict the possibilities of using potentially suitable lakes and rivers.

However, the knowledge of the occurrence of groundwater, its movement and chemical constituents, in other words the whereabouts of potable groundwater is very limited, not only among the general public but also often among engineers involved in water supply planning and design. Unfortunately there is normally also very little information on this problem available in the form of handbooks, hydrogeological maps, etc. As a result wells, both for small and for large water supply works, often seem to have been located without enough reference to the hydrogeological situation. Where the amount of water needed is small, as for single households, summer houses, etc., the situation may be acceptable. However, when the demand for water increases, reliable hydrogeological data are essential.

Most governments around the world have, through Geological Surveys during the last two decades, greatly increased their groundwater research and hydrogeological mapping activities. In 1969, the author, then an employee of the Geological Survey of Sweden, initiated a development programme for hydrogeological maps. A test series of four maps of the Örebro region in Central Sweden was planned, using the new geological maps of the Ae-Series (nos 5, 6, 7 and 8) as basic material.

Both the designing of these maps, and the planning and supervision of the field work and the preparation of the final maps and reports (map descriptions), were carried out by the author. The chapters on the general hydrological and hydrogeological conditions of the mapped areas together with the description of the occurrence and amount of groundwater in the alluvial deposits were written by the author, while the hydrogeological conditions in the bedrock were described by C-F. Müllern, and the groundwater quality by P. Engqvist. P. Bengtsson and B. Järnefors reported on special conditions on two of the maps. The test series resulted in the following reports and maps:

1. Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., Bengtsson, P., 1971: *Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro Sv.* [Description of the Hydrogeological Map Örebro SV]. — *Sver. Geol. Unders. Ag 1.*
2. Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1971: *Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NV.* [Description of the Hydrogeological Map Örebro NV]. — *Sver. Geol. Unders. Ag 3.*

3. Möller, Å., Järnefors, B., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1974: *Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NO.* [Description of the Hydrogeological Map Örebro SV]. *Sver. Geol. Unders. Ag 2.*

4. Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1974: *Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SO.* [Description of the Hydrogeological Map Örebro SO]. — *Sver. Geol. Unders. Ag 5.*

The maps present the hydrogeological conditions of the various geological formations, using data from the new geological maps. However, extensive field work on the three-dimensional aspect of the formations was performed, and some hydrogeological surveys and some testpumping and aquifer analyses were added. This test series produced the first official, regular, hydrogeological maps in this country.

This paper, which is primarily based on the findings and conclusions derived from these four hydrogeological maps, begins by discussing such important factors as the purpose of hydrogeological maps, the identity of the main users, the selection of symbols and map scales, etc. To give the reader a better understanding of the situation regarding the development of hydrogeological maps in Sweden a review of various hydrogeological maps and of the practice of hydrogeological mapping in other European countries is also provided. Then follows the description of the test series and the results and conclusions reached. A proposal for two new hydrogeological map series (models) is also presented. Unfortunately, for financial reasons, the illustrations of some of the maps presented and discussed had to be printed in black and white.

Hydrogeological maps

Purpose of hydrogeological maps

The purpose of a hydrogeological map is to present—in a three-dimensional manner as far as possible—various areas and formations according to their hydrogeological characteristics. The maps should provide a basis for calculations of the groundwater potential (or safe yield) of the various formations. Consequently any information leading to a better understanding of the occurrence, movement, quantity and quality of the groundwater can and should be shown on hydrogeological maps. The geology should be subdued and only sufficient to allow a proper understanding of the hydrogeological conditions. When needed, several different maps can be made if a great deal of information is necessary or available. Furthermore the use of profiles, diagrams and satellite maps illustrating e.g. the vertical change of hydrogeological parameters, variation of the groundwater level with time, precipitation, etc., should be encouraged.

Important problems or aspects of the production of the hydrogeological maps

One of the most important questions associated with the production of hydrogeological maps is: For whom, or for what purpose, is the map produced?

The answer to this question often regulates both the scale and the amount and type of information to be shown on the map.

As a rule the information desired can be divided into two groups:

a) detailed information (large scale maps)
b) general information (small scale maps)

Maps belonging to the first group normally follow the scale 1:2 000, 1:5 000 or even 1:10 000, and are used primarily in connection with detailed hydrogeological planning, building projects etc. They are not usually included in regular mapping programmes financed by government funds. Maps belonging to the second group often use the scale of 1:50 000, 1:100 000 or smaller. This kind of map is increasingly in demand for e.g., water supply and waste disposal planning. Consequently, they are now included in the regular mapping programmes of several geological surveys.

It is obvious, however, that the hydrogeological information requested by different groups of users cannot possibly be provided by a single map type. Consequently, the map consumers' needs and wants must be carefully analysed and related to available manpower and money when the production of hydrogeological maps is being planned.

Another problem associated with hydrogeological studies concerns the amount and reliability of geological, hydrological and hydrogeological information avialable for the study. Modern geological maps with an abundance of three-dimensional data, such as geological profiles, the depth and stratigraphy of the various formations and deposits, geophysical data, test drilling etc., have proved to be more useful than conventional geological maps where only the surface geology is shown. Unfortunately test drilling and geophysical investigations are expensive, and therefore seldom undertaken in the context of routine geological mapping. The international trend, however, is now towards a steep increase in such activities, provoked by the need for better, more detailed and more reliable geological information.

International legend for hydrogeological maps

Due to the increased interest and activities in hydrogeology after the second world war, several UN-agencies (FAO, UNESCO, UNDP, etc.) and other international bodies, particularly the International Association of Scientific Hydrology (IASH), the International Association of Hydrogeologists (IAH) became aware in the early 1950's of the need for an international legend concerning hydrogeological mapping in order to help both developed and less developed countries to make a better assessment of their water resources. Under the prevailing circumstances, most UN-agencies, and also many countries used their own lay-out for such maps, with varying colours, symbols, etc., which drastically curtailed the possibilities of exchanging valuable scientific, hydrological and hydrogeological information.

Three of the aforesaid organizations, IASH, IAH and UNESCO therefore studied the problem by means of working committees, and in 1962 a first draft on an international map legend was made. After valuable experience and criticism had been reviewed, a final version was agreed in 1967. The legend was printed in 1970 by UNESCO with the title "International legend for hydrogeological maps".

In this chapter a brief summary will be given of the principles recommended in the legend regarding symbols, etc., to be used in connection with hydrogeological maps.

Selection of scales. — The selection of scale depends on the purpose for which the map is commissioned. Large-scale maps, e.g. 1:5 000 or 1:10 000, generally have a technical and scientific purpose, while small-scale maps, i.e. 1:50 000 or smaller, are normally used in connection with regional planning and similar activities. The selection of scale, however, is of less importance according to the guide, and it is up to each country to select the most suitable scales based on local considerations.

Symbols. — The symbols given in the guide are strongly recommended for use as standards, particularly for small-scale maps. Large-scale maps may vary in character according to local conditions and purposes, so that some freedom in the selection of symbols must be left to the map maker.

Of all the symbols listed in the guide normally only a limited number are needed on a specific map. The symbols to be used should consequently be selected according to the nature and availability of geological, hydrogeological and other data and the scale and purpose of the map. The guide also stresses the usefulness of marginal cross sections, diagrams and satellite maps.

Colours. — The basic principle is that the lithology be shown with symbols of a single colour, while hydrogeological parameters indicating the character or usefulness of the different formations (aquifers) use different colours but no symbols. Two conditions are recognized: a) porous and b) fissured formations. In porous formations two (or more) shades of blue are used, greater intensity indicating higher potential (extensive and productive aquifers). In fissuered formations two (or more) shades of green are used, and here too greater intensity denotes higher potential. This system allows rapid recognition of useful aquifers. In general different colours should be assigned to different parameters for a quicker identificaiton. A summary of the recommendations is given in the following table:

grey for topography (names, roads,elevation, etc.)
black for geological contacts and tectonic features (faults, fractures, etc.)
brown for areal representation of lithology (identification of various rock types, drift deposits, etc.)
blue for the character of porous aquifers (different potentials)
green for the character of fissured aquifers (different potentials)
violet for groundwater features (groundwater divides, direction of flow, etc.)
orange for hydrochemical information (areas with high chloride, nitrate, etc., content)
red for works of man (wells, water works, recharge basins, etc.)

The UNESCO "International legend for hydrogeological maps" has been in use in most countries since 1970 and should also be followed in Sweden in the development and production of hydrogeological maps.

Hydrogeological mapping in Norway, Finland, Denmark, Hungary and The Federal Republic of Germany

In order to comprehend the development of hydrogeological maps in Sweden a brief review and discussion of the present map models and the mapping (field work) technique in other countries with similar and with different hydrogeological conditions are presented. The countries are Norway, Finland, Denmark, Hungary and the Federal Republic of Germany. They were selected primarily because all are more or less heavily committed to the development of hydrogeological maps. However, because of geological differences, varied interest in the subject, a high degree of divergence in the knowledge of hydrogeology among the geologists, differences in the amount of money allocated, etc., the end product varies considerably. It is therefore of great interest to compare the activities in these countries with the situation in Sweden.

In Sweden, Norway, Finland and Denmark the most significant groundwater resources are found in Quaternary deposits. Groundwater in the bedrock is of less importance. In Hungary and Germany the hydrogeological situation is more complex.

Norway

Geological maps. — The standard scale for geological maps is 1:50 000. The amount of field work needed varies according to the part of the country being mapped. Generally the Quaternary deposits are of minor extent because of the rocky terrain and the mapping is relatively easy. About 300 field-days per map sheet (approximately 630 km^2) are usually needed for the mapping of Quaternary deposits. The use of drilling equipment and geophysical methods varies according to the amount and nature of the deposits. A total of 5 to 10 km of seismic profiles per map is not uncommon. Test drilling, however, is less frequently included in standard mapping procedure. Investigations, including seismic measurements and sometimes drilling, are normally concentrated to sand and gravel deposits which now or in the future may be of interest in connection with e.g. groundwater exploitation. The location of seismic profiles and test drillings are shown on the map (Bryn, 1977, written and oral com.).

The classification of the deposits comprising the overburden is based on the lithology, and shown on the maps by various colours and symbols. The thickness of the various layers or deposits is indicated where test drilling was done. The lay-out of the maps and the selected colours and symbols make them attractive to the eye, and the maps serve as very useful base maps for hydrogeological studies. Figure 1 shows such a map in black and white (Quaternary Map *Alta*, 1834 I, 1:50 000).

Special maps of Quaternary deposits using the scale 1:20 000 are at present in preparation covering areas of

4.0 G/S > 7.0
3.0 G/Si
7.0 S/Si
3.0 G/10 S
Peskanasan
Skaddacakka
Fyllheim
Vatnheim
Förholmen
Sletta
Tredlund
Granstrømmen
Brattstrauten
Nedre Stengelse
Øvre Stengelse
Fyllkasti
Peskamoen
Storlia
Fagerheim
Setervollen
Otterholmen
Bjørkhusberg
Bjørkhusmoen
Fredlund
Stengelsgrotten
Milkavatnet
Kilstrømmen
Vallglia
Fyrkhund
Tredlund
Peskamoen
Peskamyrin
Peskamyrin
Peskamyrin

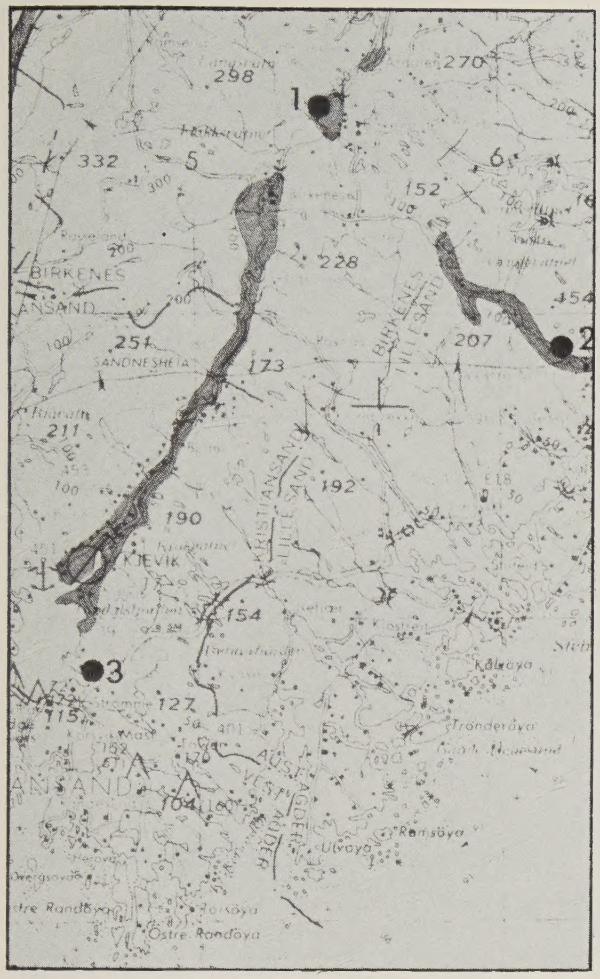


Fig. 2. Part of Water Resources Map *Arendal*, No. 35–2, 1:250 000. This map shows areas where the overburden formations or deposits may be utilized for groundwater extraction. The location of larger wells and test drillings are also marked, and assigned an identification number. Data concerning the wells and test drillings are given in the margin. The total amount of groundwater which can be extracted, and the sites at which wells should be located must be determined by additional investigations.

Kartan visar områden där jordarterna har bedömts ha en sådan utbredning och sammansättning att större grundvattenuttag är möjliga. Läget av brunnar med särskilt stora vattenuttag och läget av provborrningar är angivna tillsammans med ett identifieringsnummer. I kartans marginal lämnas detaljerad information om dessa brunnar och provborrningar. Hur mycket grundvatten som totalt kan utvinnas samt var brunnar lämpligen bör placeras måste dock fastställas genom särskilda undersökningar.

scale. But as this kind of map costs more and takes longer to produce, only selected areas can be mapped at present (Huseby, 1976).

The hydrogeological map *Bergen*, NGU No. 1115 I (Ellingsen, 1975) is of a different type (also using the scale of 1:50 000). This is a test map, primarily illustrating the hydrogeological conditions of the bedrock. The map shows various hydrogeological parameters, of which the most important are the distribution of various rock types, faults and fractures and the location and capacity of wells and springs. The estimated combined water yielding capacity of the rock and fracture systems is divided into four groups:

a) < 100 l/h, b) 100–400 l/h, c) 400–2,000 l/h and d) 2,000–6,000 l/h.

This variation is represented by yellow for the a-group and three different shades of green for the other groups.

The map is based mainly on geological and hydrogeological information collected in connection with earlier special groundwater studies of selected areas within the map area. However, additional field work was needed including an inventory of wells with special emphasis on the influence of rock type, tectonics and topography on well capacity and water quality (Ellingsen, 1975). The map provides an excellent description of the possibilities of obtaining groundwater from the bedrock. Nevertheless the production of such a map is for financial reasons only feasible where an abundance of drilled wells already exists. It is therefore doubtful if this kind of map can be produced on a regular basis. Figure 3 shows part of this map in black and white (Hydrogeological Map *Bergen*, 1115 I, 1:50 000).

Finland

Geological maps. – In Finland the basic geological map of the Quaternary deposits uses the scale of 1:100 000. However, maps using the scale of 1:20 000 are now being tested. The time needed for field work on the 1:100 000 scale map (1,200 km^2) is, about 12 months for two geologists, and for the 1:20 000 scale map (100 km^2) about 4 to 6 months for one geologist.

Geophysical investigations and test drilling are now standard procedures in geological mapping. The number of seismic or geo-electrical profiles and soundings as well as the number of test bores drilled varies according to the geological setting. About 5 seismic profiles measuring 0.1–2 km are normally considered necessary for the 1:20 000 map, and up to 20 profiles of the same length for the 1:100 000 map (Hyyppä, J., 1977, written com.).

Test bores are frequently drilled in sand and gravel deposits of glaciofluvial origin. Drilling is also done in till and clay, particularly where the stratigraphy is complicated, and where e.g. sand and gravel deposits may exist below these deposits. The drills are light percussion machines capable of drilling to a maximum of about 30 m. Samples are rarely taken. Between 10 to 100 drillings are made for the 1:20 000 map, and the locations and the results are shown. On the 1:100 000 map between 250 to 1,250 drillings are made. The results are not shown on the map but are given in the accompanying description. The number of seismic investigations and test drillings made in the standard mapping procedure clearly indicate the importance of such work (Hyyppä, J., 1977, written com.).

Hydrogeological maps. – At present no separate hydrogeological map series exist. Instead a limited amount of hydrogeological information is given on the 1:20 000 geological map (location of wells with indication of the depth to the water table and springs with approximate flow) which, together with the data from the test drillings and the geophysical investigations, give the reader some

Fig. 3. Part of Hydrogeological Map *Bergen*, NGU No. 1115 I, 1:50 000. This map is, in principle, a hydrogeologic map of the bedrock. The distribution of the various rock formations, the lithology, is shown by different symbols. The water yield ability is shown by different colours. A distinction is here made between areas fairly well covered by basic data, and areas where the classification is based on sparse data. The location of wells is shown by circles together with a registration number, larger circles indicating greater capacities. The well capacities are divided into the following capacity intervals:

< 100	litres per hour
100–400	"
400–2000	"
2000–6000	"
> 6000	"

Wells with unknown capacity are marked by dots. Fractures, springs, larger bodies of water and drainage or sewage pipes are also shown (the latter however not on the map here illustrated).

Denna karta är i princip en hydrogeologisk berggrundskarta. Fördelningen av olika bergarter visas med olika symboler medan dessas relativa grundvattenförande förmåga anges med olika färger. Skillnad görs mellan områden med omfattande respektive bristfälligt basmaterial. Brunnar anges med cirkeltecken och ett registreringsnummer. Ju större cirkel ju större kapacitet. Brunnars kapacitet är uppdelad i följande kapacietetsintervall:

< 100	*liter/h*
100–400	"
400–2000	"
2000–6000	"
> 6000	"

Brunnar med okänd kapacitet anges med en punkt. Sprickzoner, hällar samt större vatten, dränerings- eller avloppsledningar anges även (de senare finns emellertid ej på det visade kartexemplet).

understanding of the hydrogeology of the area. However, the map is still basically a geological map and cannot be considered a true hydrogeological map.

Figure 4 represents the Quaternary Map No. 1134 *Kokemäki* from 1974 using the scale 1:100 000, while Fig. 5 is part of a test print from 1977 of the newly developed map to a scale of 1:20 000, No. 213211. No name is attached to this map.

Denmark

Geological maps. — Most of Denmark is covered with alluvial and fluvial deposits usually several tens of metres thick. The superficial extension of these deposits is illustrated on geological maps using a scale of 1:100 000. The maps show the conditions to a depth of approximately 1 m. No systematic test drilling or geophysical in-

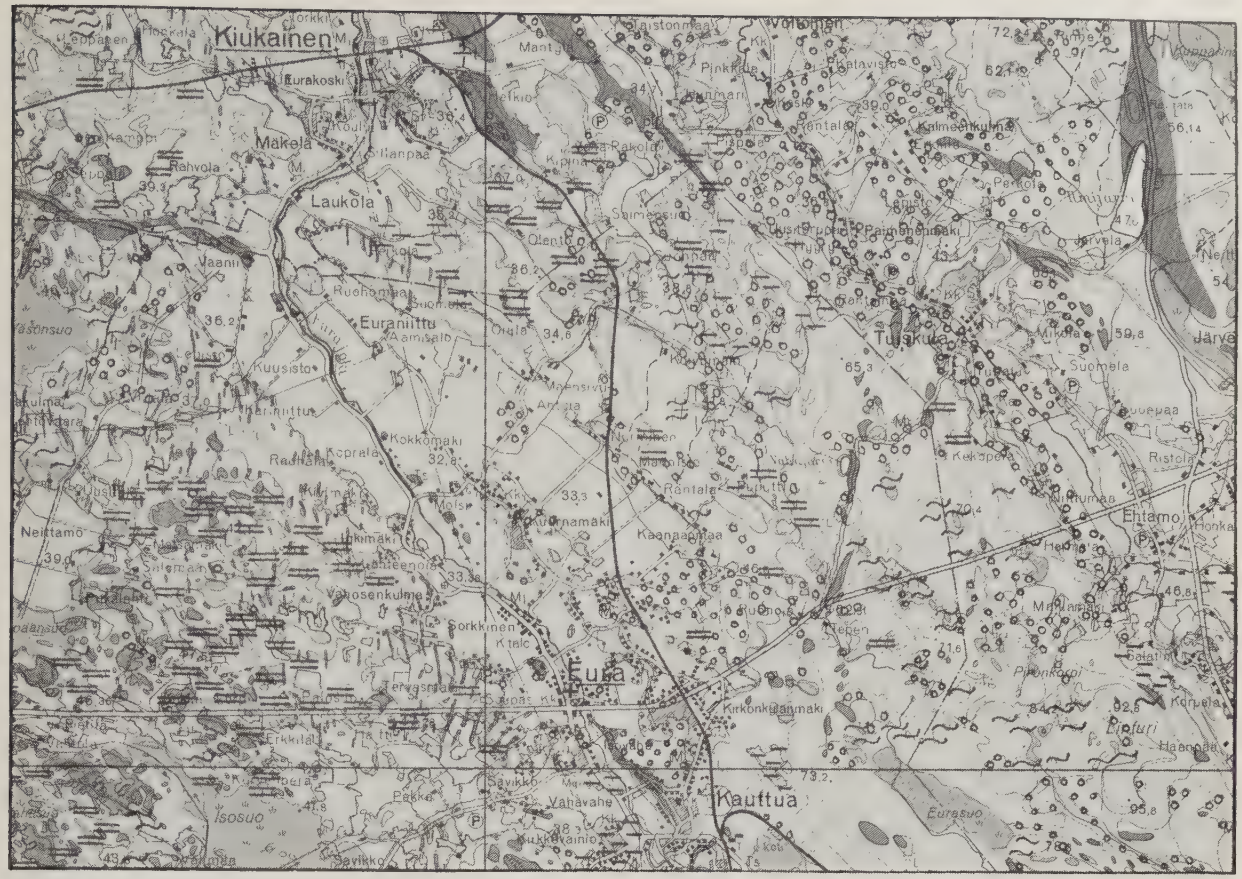


Fig. 4. Part of Quaternary Map No. 1134 *Kokemäki*, 1:100 000. This map is a good example of a geological map in which not only the main quaternary deposits and formations are shown but also information on the stratigraphy. The main deposits are shown by different colours, and in addition surface layers of up to 1 m depth are indicated by symbols. This is contrary to current mapping practice in Sweden. For example, double horizontal lines indicate that the surface layer consists of clay, single lines denote silt etc.

Denna karta utgör ett bra exempel på en geologisk karta där inte bara den huvudsakliga fördelningen av jordlagren redovisas utan den ger även en viss uppfattning om stratigrafin genom att skilja på tunnare ytliga jordlager och mer omfattande formationer eller bildningar. Dessa senare anges med olika färger medan ytskikt av upp till en meters tjocklek anges med symboler. T.ex. anges lera med dubbla horisontella linjer, silt med enkla linjer etc. Denna metod används ej i Sverige där enbart jordarten i själva markytan (till cirka 0.5 meters djup) anges.

vestigations are made during the field work, although sometimes, hand-drilling with sampling is done to a depth of 2 to 10 m (Nielsen, A.V., 1977, written com.).

Hydrogeological maps. — Groundwater has for many years been extremely important in Denmark by reason of the scarcity of surface water resources. This has led to a situation in which registration of wells, including data regarding their geological setting, well design, capacity, etc., has been compulsory since 1926 (in Sweden since 1975). The registration is administered by the Geological Survey of Denmark. At the moment data from about 135,000 drilled wells are on record (Nielsen, A.V., 1977, written com.).

Hydrogeological maps have not so far been produced on a regular basis. However, with the emergence of the cyclogram technique, which allows three-dimensional presentation of hydrogeological data from boreholes and wells, the development of so called "Basic Data Maps", using the scale 1:50 000, was initiated (Andersen, 1973). From these maps, hydrogeological maps showing for example the thickness of the various formations, depth from surface to the bedrock, transmissivity, water quality, etc., can be produced. However, such maps are not manufactured on a regular basis at present but are instead made in connection with special groundwater studies.

As standard geological maps, showing the conditions to a depth of about 1 m, are of limited use for hydrogeological work, as for most other applied geological problems, the necessity for a clear three-dimensional understanding of the hydrogeological situation is instead satisfied by the basic data maps. The abundance of hydrogeological information given in these maps, and the well archives of the Geological Survey, also reduces the cost of additional test drilling and pumping in connection with groundwater studies.

Figure 6 shows an example in black and white of a basic data map (Geological Basic Data Map No. 1216 III *Farsö*).

Hungary

Geological and hydrogeological maps. — The geological

Fig. 5. Part of test print of the newly developed Quaternary Map No. 213211, 1:20 000. In this detailed map the different formations and deposits are differentiated both by colours and symbols. Test drillings are shown by circles with identification numbers, and figures indicating the thickness of various formations according to a detailed legend. Springs, sometimes with flow figures, are also marked as well as wells with water level observations. Unfortunately, no indication of the direction of groundwater flow or the location of groundwater divides in the main esker system is given. However, the map provides an excellent basis for future hydrogeological studies.

Denna kvartärgeologiska karta är mycket detaljerad vad gäller gränser och är föredömligt enkel beträffande själva det geologiska innehållet. Den är lättläst, de olika jordarterna anges med olika färger, genesen med raster. Källor ibland med angivande av vattenmängden redovisas även liksom brunnar med vattennivåobservationer. Samtliga dessa är försedda med registreringsnummer. Tyvärr saknas sådan hydrogeologisk information som riktningen på grundvattnets rörelse i grusåsarna och läget av grundvattendelare i dessa. Kartan är emellertid en utmärkt baskarta för fortsatta hydrogeologiska studier.

and hydrogeological conditions throughout much of Hungary are quite different those prevailing in Sweden. A large part of the country is covered by the Hungarian Plain, where the thickness of alluvial and fluvial deposits may exceed 500 m and where wells may reach a depth of more than 1,000 metres. The bedrock below this plain, and the bedrock of the surrounding mountain-ranges are mainly of sedimentary origin, and sometimes good groundwater producers. Thermal or mineral waters are often encountered at great depths. Karst conditions are also common in some areas.

The need for reliable geological and hydrogeological information has long been recognized in Hungary. A detailed geological and hydrogeological study of the country with particular emphasis on the Great Hungarian Plain was initiated in 1964. During these studies, which are still in progress, the geology, hydrogeology, agrogeology and engineering-geological conditions are examined. The map scales used are 1:100 000 and 1:200 000. In the case of the latter scale the mapped area covers some 1,500 square kilometres. The result is presented in a comprehensive atlas of outstanding quality. A brief description of the atlas of the *Tiszafüred* area will be given here (András, 1975).

Collection of basic information. — In order to collect basic information, the map area is divided by a regular grid for the drilling of 10 m deep exploratory holes at 1,500 m apart. This means that 600 to 700 test holes are drilled

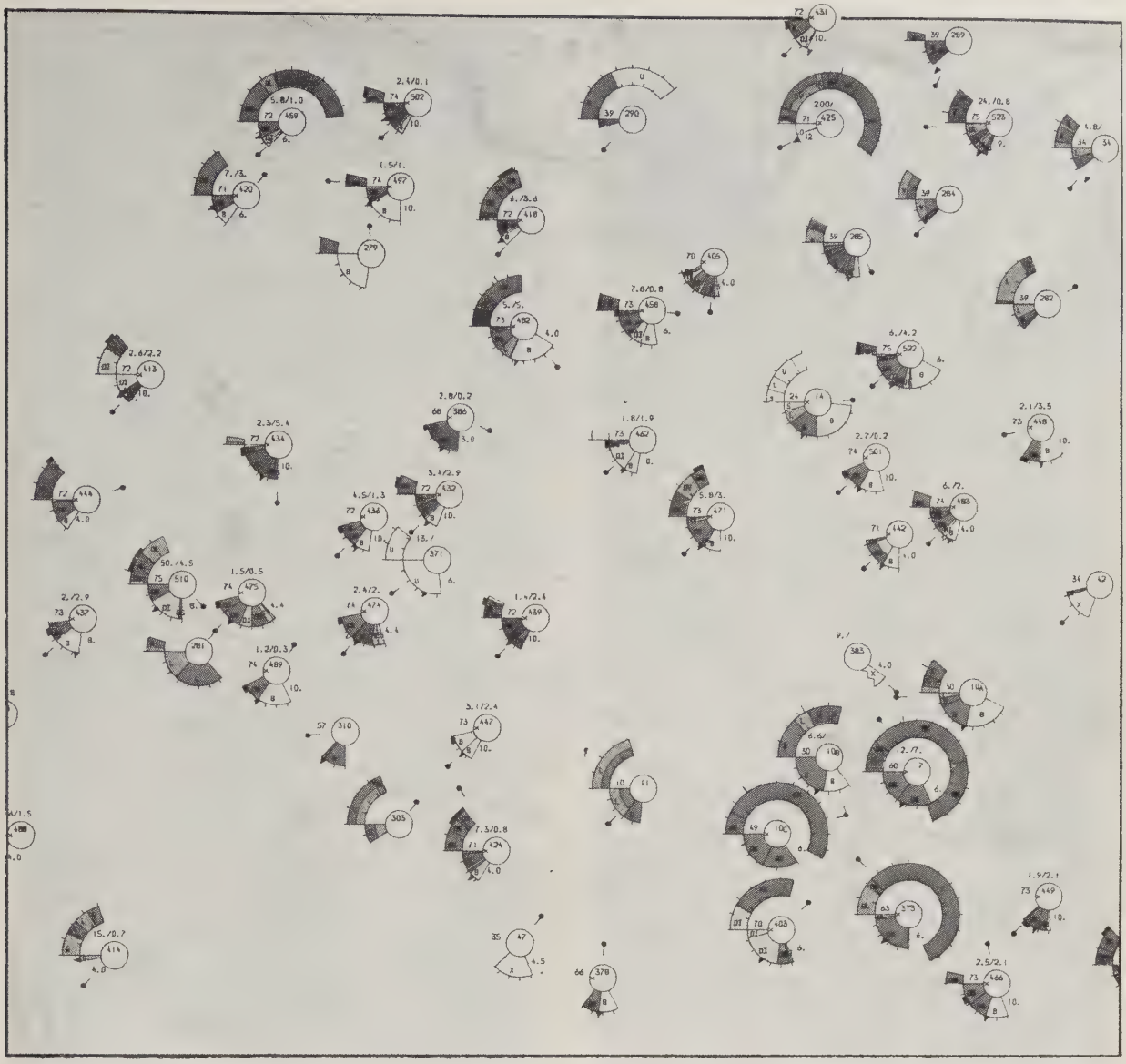


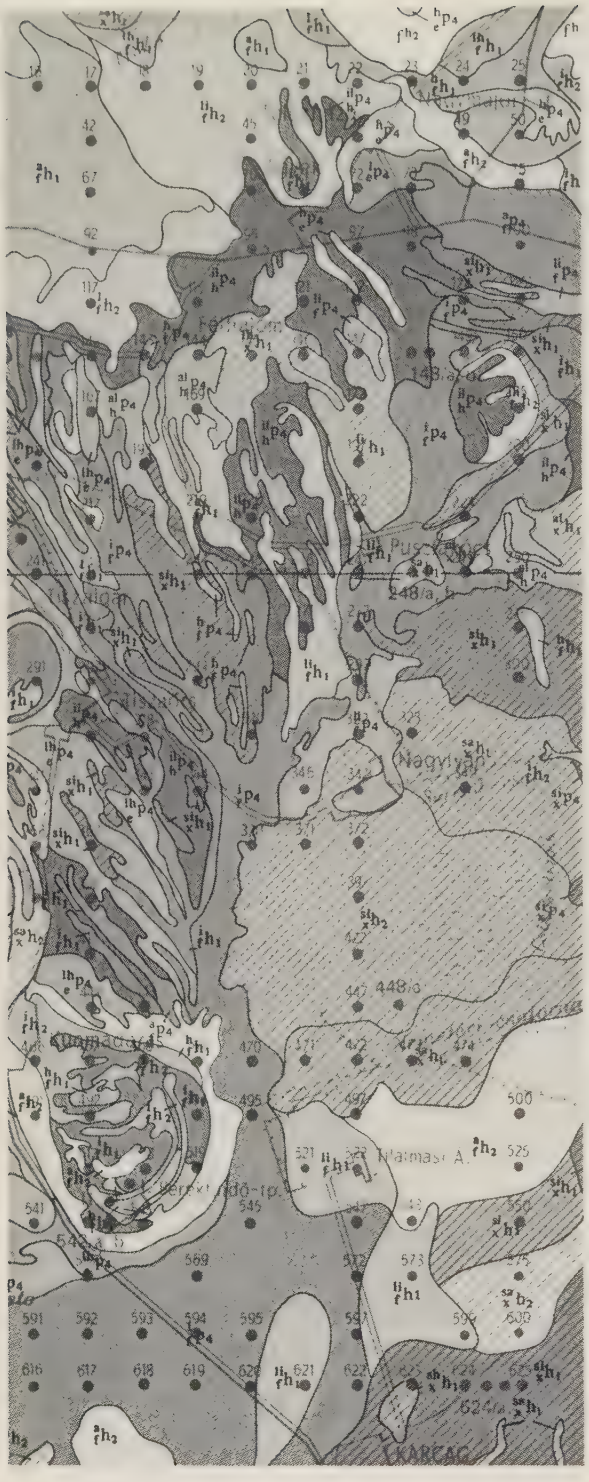
Fig. 6. Part of Geological Basic Data Map No. 1216 III *Farsö*. This map shows the location, elevation and depth of all wells registered at the Geological Survey of Denmark at the time of printing. It also shows, by the cyclogram technique developed by L.G. Andersen (Andersen, 1973), both the stratigraphy and the lithology at each well site plus some geohydrological information, such as the groundwater level and the water level in the well at a certain discharge (specific capacity). The cyclogram technique requires the use of several colours and a large number of symbols. However, particularly in areas with complicated geological conditions, this method is by far the best so far developed.

Denna karta visar inte bara läget av alla brunnar registrerade vid Danmarks Geologiska Undersökning utan även marknivån vid brunnen samt dess djup. Genom den cyklogrammetod som uppfunnits av L.G. andersen (Andersen, 1973) redovisas såväl stratigrafi som litologi. Även sådana geohydrologiska parametrar som grundvattenytans nivå och grundvattenytans avsänkning i brunnen vid ett visst uttag (specifika kapaciteten) redovisas. Cyklogrammetoden kräver ett förhållandevis stort antal färger och ett stort antal symboler. Metoden är emellertid, särskilt i områden med komplicerad och omväxlande geologi, utan tvivel den i dag förnämsta.

within the map area. Thus depth to the groundwater table, the groundwater level or hydrostatic pressure and hydrochemical characteristics *inter alia* are determined when possible. Some exploratory holes considered to be of moderate depth—i.e. 100—1,500 m—by Hungarian standards are also drilled in order to clarify the large scale stratigraphy of the area.

Apart from the exploratory holes information is collected from drilling for wells and other engineering projects as well as activities in which the geology can be studied three-dimensionally.

Presentation of data. — In order to reproduce the very large amount of geological, hydrogeological and agrogeological information collected through the various exploration projects, some 15 to 20 maps are usually



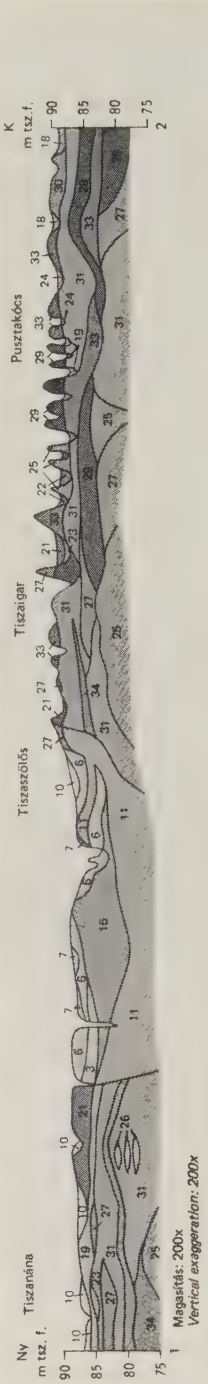


Fig. 7a Surface geology
Geologiska förhållanden vid markytan

Figure 7a to 7e give examples of the maps presented in the Geological Atlas of the Great Hungarian Plain area of *Tiszafüred*. The maps are the following:

7a Surface geology
7b The geology at 5 m below surface
7c Lithological logs of the 10 m deep drill holes
7d Hydrostatic level of the groundwater table
7e The groundwater table above sea level

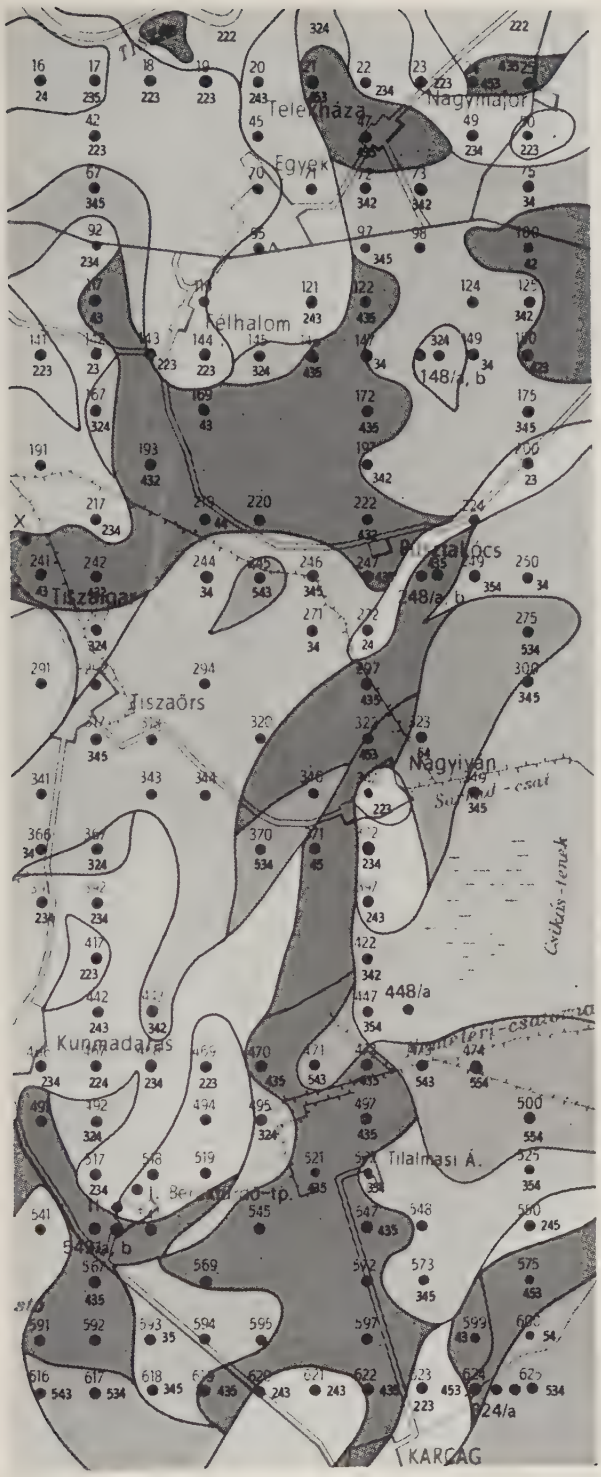


Fig. 7b The geology at 5 m below the surface
Geologiska förhållanden på 5 m djup

Fig. 7c Lithological logs of the 10 m deep drill holes
Litologiska profiler från 10 m djupa provborrningar

The maps presented here are not selected for a particular purpose or system but with the intention of giving the reader an idea of the tremendous amount of work invested in this Atlas. The maps necessarily uses a large number of colours and symbols, see for example Fig. 7a. On most maps, satellite maps or profiles etc. are usually printed in the margin in order to clarify a specific situation. The atlas is however sometimes slightly complicated to read and interpret for person not accustomed to geological maps or problems.

På Fig. 7a till 7e visas några exempel av de kartor som ingår i Geological Atlas of the Great Hungarian Plain, area Tiszafüred. Följande kartor visas:
7a Geologiska förhållanden vid markytan
7b Geologiska förhållanden på 5 m djup
7c Litologiska profiler från 10 m djupa provborrningar
7d Hydrostatiska vattentrycket
7e Grundvattenytans nivå i meter över havet
De här presenterade kartorna är inte utvalda efter något särkilt

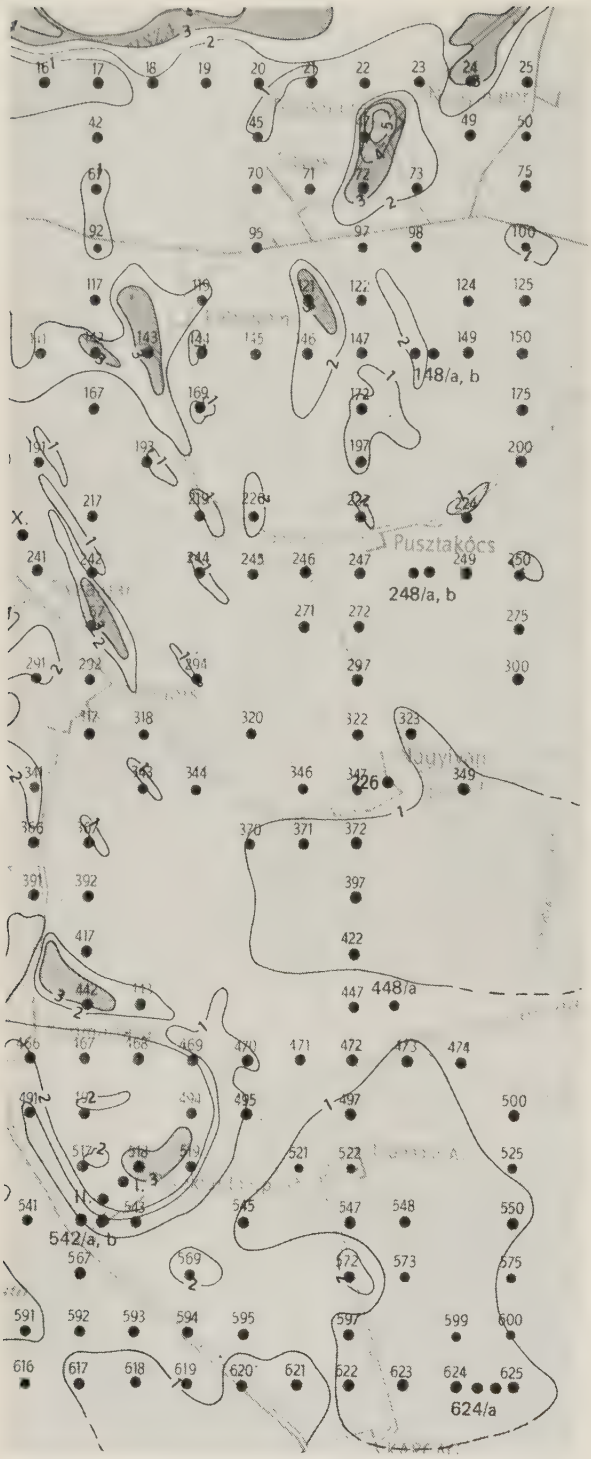


Fig. 7d Hydrostatic level of the groundwater table
Hydrostatiska vattentrycket

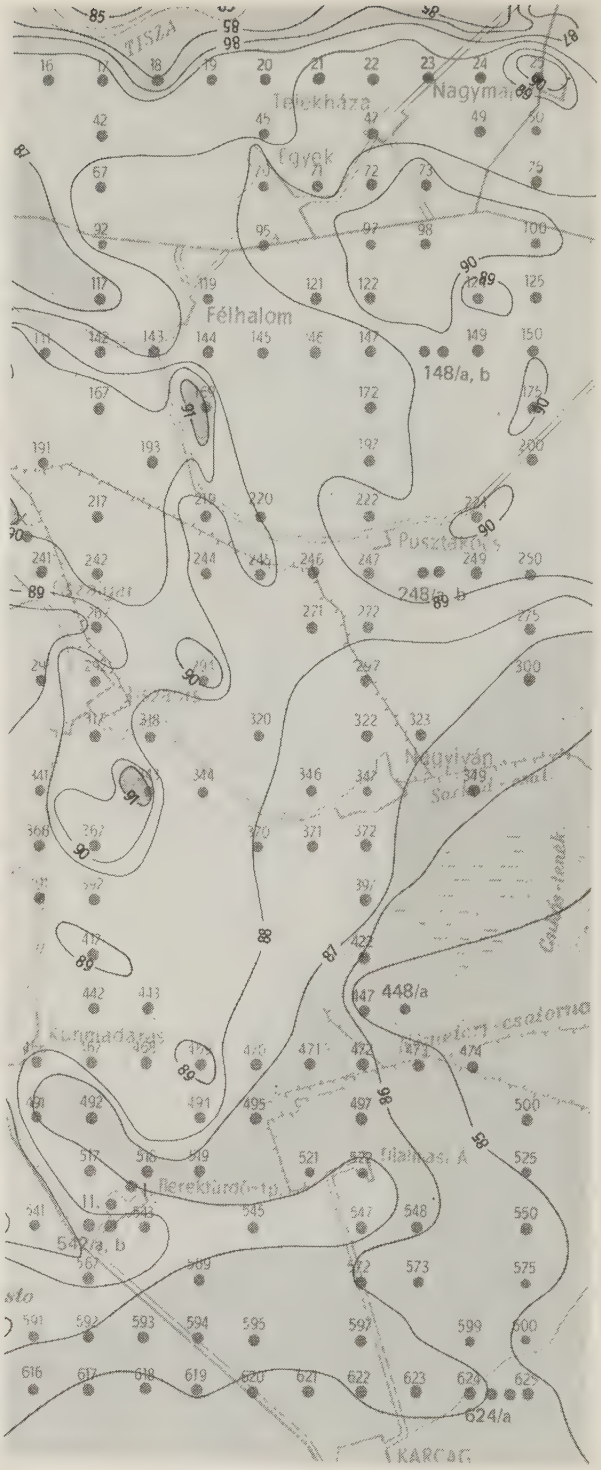


Fig. 7e The groundwater table above sea level
Grundvattenytans nivå i meter över havet.

mönster utan enbart för att ge läsaren en uppfattning om den mycket stora mängd av arbete och pengar som satsas på denna atlas. Kartorna kräver av nödvändighet ett stort antal färger och symboler, se t.ex. Fig. 7a. Tillsammans med kartorna följer i marginalen ofta mindre kartor, kurvor, profiler etc som förklarar eller visar på något speciellt problem på huvudkartan. De många kartorna och dessas rikedom på information gör emellertid atlasen något svårläst för en i geologiska ämnen ovan person.

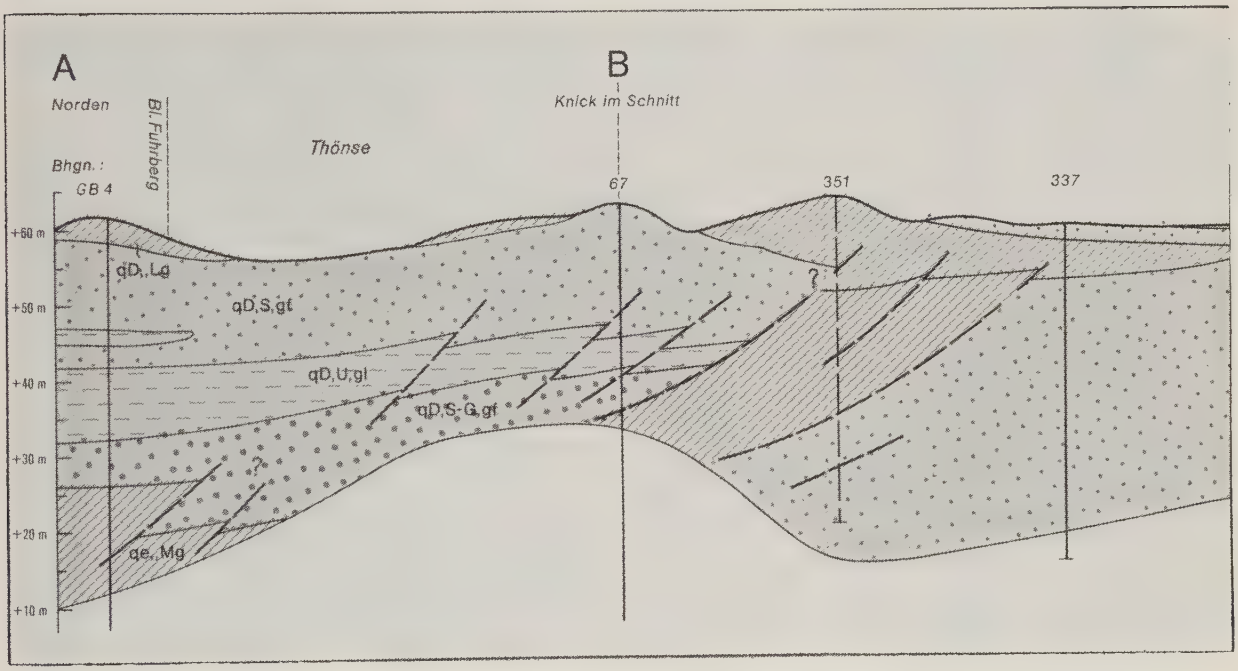
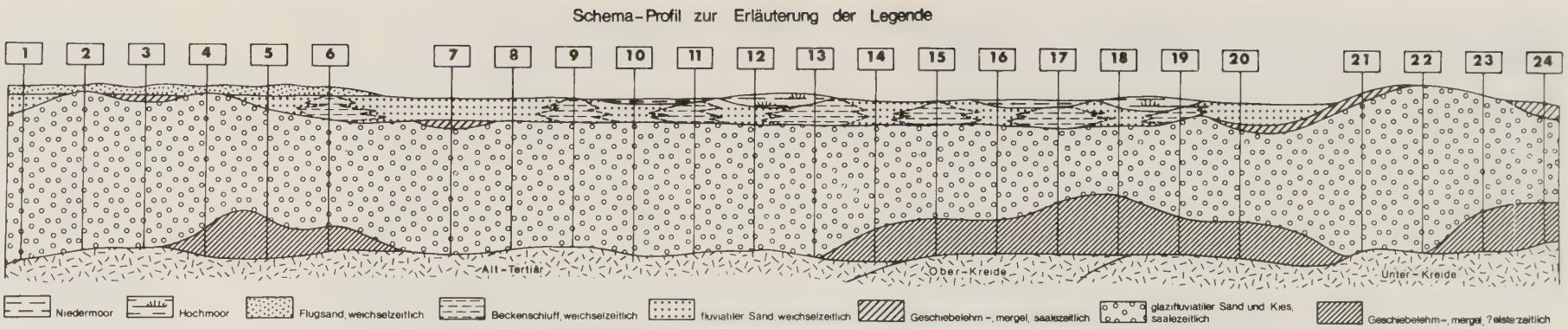


Fig. 8a–8b. Part of Geological Map of Lower Saxony No. 3525, *Grossburgwedel*. Figures 8a and 8b shows the lay-out of the modern geological map of Grossburgwedel. Various colours are used to distinguish between fluvial, aeolian, glacial and glaciofluvial deposits, and between different rock formations. Different symbols indicate the composition of the deposits, i.e. sand, gravel, peat etc. In order to clarify the stratigraphy letters and combination of letters are used, Fig. 8a. Profiles are also used when necessary to illustrate the stratigraphy, Fig. 8b.

Fig. 8a och 8b visar en del av den moderna geologiska kartan Grossburgwedel från Nedersachsen. Färger används för att skilja mellan avlagringar med olika genetiska ursprung, till exempel skiljer man här mellan fluviala, aeoliska, glaciala och glacifluviala avlagringar. Även olika typer av berggrund särskiljs på detta sätt. Sammansättningen av de olika formationerna särskiljs med symboler t.ex. större prickar för grusigt material och finare prickar för sand. För att inte ytterligare komplicera kartbilden med för många tecken används bokstäver och kombinationer av bokstäver för lättare identifiering av olika formationer eller bildningar, se Fig. 8a. För att ytterligare belysa den tredimensionella uppbyggnaden används ofta profiler, Fig. 8b.



Maßstab Länge ~ 1:50000
Höhe ~1 2000

Heinrich Mengeling & Reiner Vinken: Die Profiltypenkarte
ein Schritt in der Weiterentwicklung
geologischer Karten

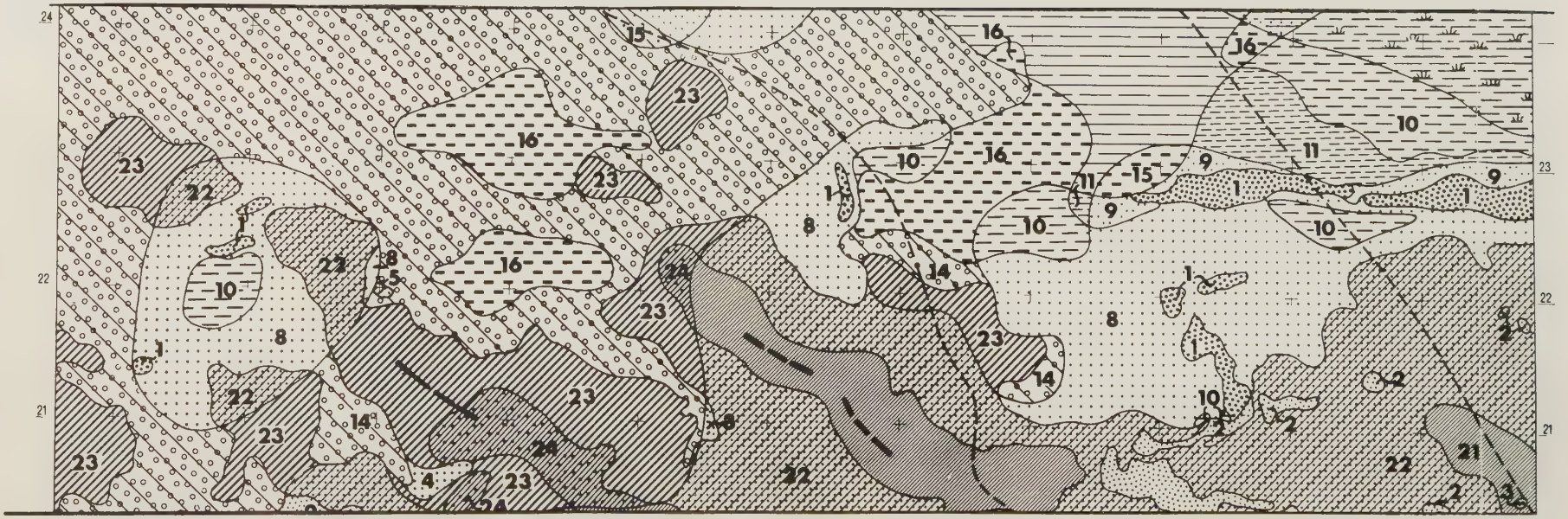


Fig. 9a–9b. Part of the Profile Map No. 3425 *Führberg*. The profile maps are particularly suitable for areas with level strata. The advantages of this form of representation are that relationships with depth are made more distinct than standard geological maps normally permit. Depending on the criteria used in the selection of geological sequences, the profile map can be developed to suit various geological conditions.

Figure 9a shows the sequence profile reproducing the various geological conditions within the map area. The clear three-dimensional representation of the geological situation is easily distinguished.

Figure 9b shows the surface geology of the same area. The various numbers refer to the corres-

De så kallade profilkartorna är särskilt användbara i områden med horisontella geologiska formationer eller bildningar. Fördelarna med denna typ av karta är att de geologiska formationernas uppbyggnad och förändring i vertikalriktning framgår så mycket tydligare än vid geologiska kartor av konventionell typ. Beroende på de faktorer som styrt valet av de olika jordlagerföljderna på typprofilen kan denna karttyp anpassas till ett flertal olika geologiska förhållanden. Profil 9a visar en typprofil med ett antal olika jordlagerföljder typiska för det aktuella kartområdet. Den klara tre-dimensionella bilden av förhållandena framgår tydligt. Figur 9b visar jordlagerförhållandena på markytan. De olika siffrorna refererar till motsvarande siffror på typprofilen, Fig. 9a.

presented for each area. The following list presents the maps prepared for the atlas covering the area of *Tiszafüred.*

1. Location map for exploration and other drilling activities
2. Geology
   2.1. Surface geology with profiles
   2.2 The lithòlogical logs of the exploratory holes
3. Agrogeological map
   3.1 $CaCO_3$ content in the subsoil at 0.4—0,5 m depth
   3.2 Permeability of the surface layer at 0.4—0.5 m depth
4. Engineering — geological map
   4.1 Geology at 2, 5 and 10 m depth below surface
   4.2 Typical engineering — geological district
5. Hydrogeological maps
   5.1 Depth of the groundwater entries as observed in shallow holes
   5.2 Hydrostatic level of the groundwater table with satellite map, showing the long-term fluctuaiton of the groundwater table
   5.3 Position of the groundwater table above sea level with satellite maps showing depth of groundwater table in boreholes (elevation above sea-level) and surface morphology
   5.4 Formation pressure to the groundwater table
   5.5 Dissolved solids in groundwater, satellite maps show hardness and alkalinity
   5.6 Depth of the best aquifer within the uppermost 500 m with satellite maps showing the pressure conditions in deep aquifers and the temperature of the groundwater
6. Subsurface geology
   6.1 Thickness of the Quaternary deposits in metres
   6.2 Contour map of the Lower-Upper Pannoian boundary horizon
   6.3 Contour map on base of the Pannonian Basin
7. Economic-geological variant
   7.1 Mineral resources and important artesian wells

Examples are here given in black and white of parts of the maps showing a) the surface geology, b) the geology at 5 m below surface, c) lithological logs of the 10-m deep drill holes, d) hydrostatic level of the groundwater table and e) the groundwater table above sea level, Fig. 7a—7e. The geological atlas briefly described above is intended to serve as a guide for geologists, planners, engineers, politicians, etc., and further investigations are normally needed if more detailed information is called for.

The Federal Republic of Germany

Geological maps. — In the Federal Republic of Germany the basic geologic map uses the scale of 1:25 000. Special attention is devoted to parameters of importance for engineering and hydrogeology as it is considered essential that the map be useful not only for soil and agricultural scientists but also for planners, engineers, etc. About 4 to 5 test drillings to about 2 m depth are made every km^2 for soil sampling, and the groundwater conditions checked by the depth and capacity of wells, depth to groundwater, etc. (Kohl, F., 1971). Profiles are often used to show the variation in geology with depth. Where this is neither feasible nor appropriate the change in geology with depth is shown on the map with special letter-symbols.

A clear three-dimensional picture of the geological conditions is thus obtained. An example of such a map is given in Fig. 8 (Geological Map of Lower Saxony, No. 3525 *Grossburgwedel*).

So-called profile or sequence maps were developed in 1975 (Mengeling and Vinken, 1975). This kind of map is particularly suitable for the representation of stratigraphic sequences in areas with more or less level strata. The scale is 1:50 000 and the map is printed in black and white, making it relatively inexpensive. This map type is easily read and understood by nongeologists. Depending on the criteria used in selecting the types of sequences shown, the profile map can be produced to suit various pragmatic applications. Such a map is illustrated in Fig. 9 (Profile Map No. 3425 *Führberg*).

In addition to the standard geological maps using the scale of 1:25 000 small scale maps using the scale of 1:200 000 are also being produced. The lay-out of these maps is rather conventional, and of limited interest in the context of hydrogeological mapping. No further reference to this type of map will therefore be made.

Hydrogeological maps. — There is a great need for detailed hydrogeological information in Germany. Most groundwater maps therefore use the scale 1:50 000. The hydrogeological map of Paderborn in Nordrhein—Westfalen will here briefly be described as being of outstanding quality (Koch, Michel, Vogel, 1971). The hydrogeological maps are divided into two parts. The first shows the lithology and the hydrogeological classification of the different formations within the area together with important observation wells, water extraction wells and springs, whether used for water supply or not. Boundaries of hydrogeological importance, such as surface and groundwater divides, important fault on zones, etc., are also shown. The second part concentrates on the use and protection of the aquifers. This map also shows various wells and springs and, in addition, the location of oil tanks, sewage and waste disposal works, groundwater protection areas etc. The direction of groundwater flow is marked on both maps. Most of the map symbols and colours are in accordance with the international legend system. Examples in black and white of these two maps are given in Fig. 10a & b.

Hydrogeological mapping in Sweden

The need for hydrogeological maps

The total water abstraction for urban water supply at present amounts to about 1,000 milj m^3 per year (Ministry of Agriculture 1977:28, 29). Of this amount 53 per cent was surface water, 26 per cent natural groundwater and 21 per cent artificial groundwater (through artificial recharge). However, the importance of groundwater is further emphasized if densely populated areas, i.e. the municipalities of Stockholm, Göteborg, Norrköping, Linköping, Jönköping, Borås and Östersund, who, in the

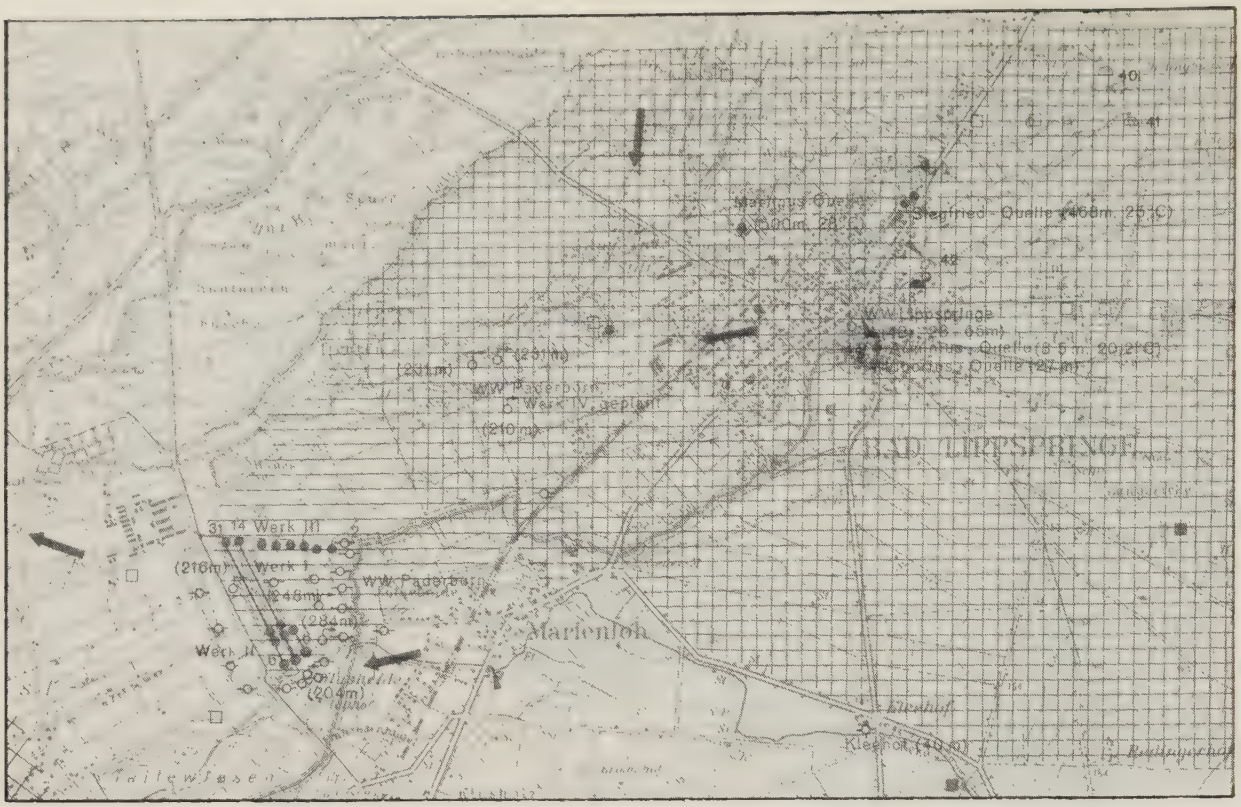


Fig. 10a–10b. Part of Hydrogeological Map *Paderborn*, 1:50 000. a) Basic Hydrogeological Conditions, b) Exploitation and Protection Conditions.

Figure 10a shows the lithology and general hydrogeological conditions. The lithology is indicated by symbols, while the water yielding ability of the various formations, both overburden and bedrock, is illustrated by colours. The geology is simplified, and only contains formations of interest in connection with hydrogeological conditions. Important boundaries, both geological and hydrogeological, permeable and non-permeable, are shown as well as both surface and groundwater divides and the main direction of groundwater flow. Important wells and test-drillings, springs—both perennial or non-perennial—municipally and privately utilized springs are also marked. The colours and symbols in principle follow the UNESCO legend.

Fig. 10a visar både geologiska som hydrogeologiskt viktiga bildningar och formationer. Litologin, dvs de geologiska förhållandena, visas med symboler medan den vattenförande förmågan hos dessa, såväl jordarter som berggrund, anges med färger. De geologiska förhållandena är beskrivna på föredömligt enkelt sätt och kopplade så mycket som möjligt till hydrogeologiskt viktiga förhållanden. Såväl geologiskt som hydrogeologiskt viktiga gränser redovisas bl.a. även permeable och icke-permeabla samt yt- och grundvattendelare och grundvattnets huvudsakliga rörelseriktning. Vidare redovisas t.ex. viktiga källor, brunnar och undersökningsborrningar. De färger och symboler som använts följer i huvudsak riktlinjerna givna av UNESCO.

main, use surface water, are excluded from the statistical calculation. The use of groundwater, including artificial recharge, then accounts for 71 per cent of the total municipal water supply. Of a total number of 1,510 municipal works about 77 per cent use groundwater.

In a study, made by the Geological Survey in 1976, the demand for hydrogeological maps in the county administrations was investigated. The study (unpublished) revealed a great demand for both regional (small scale) and local (large scale) hydrogeological maps using the scales 1:250 000 and 1:50 000. The greatest need, however, was for detailed maps using the scale 1:50 000, which was stressed by nine of the 15 counties which replied. Two counties were satisfied with maps using the scale of 1:250 000 while four wanted both types. Some counties had no opinion in the matter. The study also indicated that the geological information at present available in the form of standard geological maps was considered insufficient, especially in counties where the geological maps are relatively old.

The occurrence of groundwater in Sweden

The most suitable formations for the exploitation of groundwater are the sand and gravel deposits, most of which belong to the esker systems of Late Quaternary origin. The eskers are usually long and winding, and form groundwater reservoirs of varying length and depth. In some cases as much as several hundred litres per second can be continuously withdrawn from a single groundwater reservoir, but as a rule the potential is less than 100 l per s. In most cases the potential can be increased severalfold by artificial recharge. Groundwater may also be found, sometimes in considerable quantities, in heavy layers of wave-washed materials.

Other Quaternary deposits are till, clay and organic deposits, none of which are of particular interest in connection with larger groundwater supplies. However, large diameter wells in till can have a capacity of between 0.5—5 m^3/day which suffices for most single households (Möller, Engqvist, Müllern, 1974).

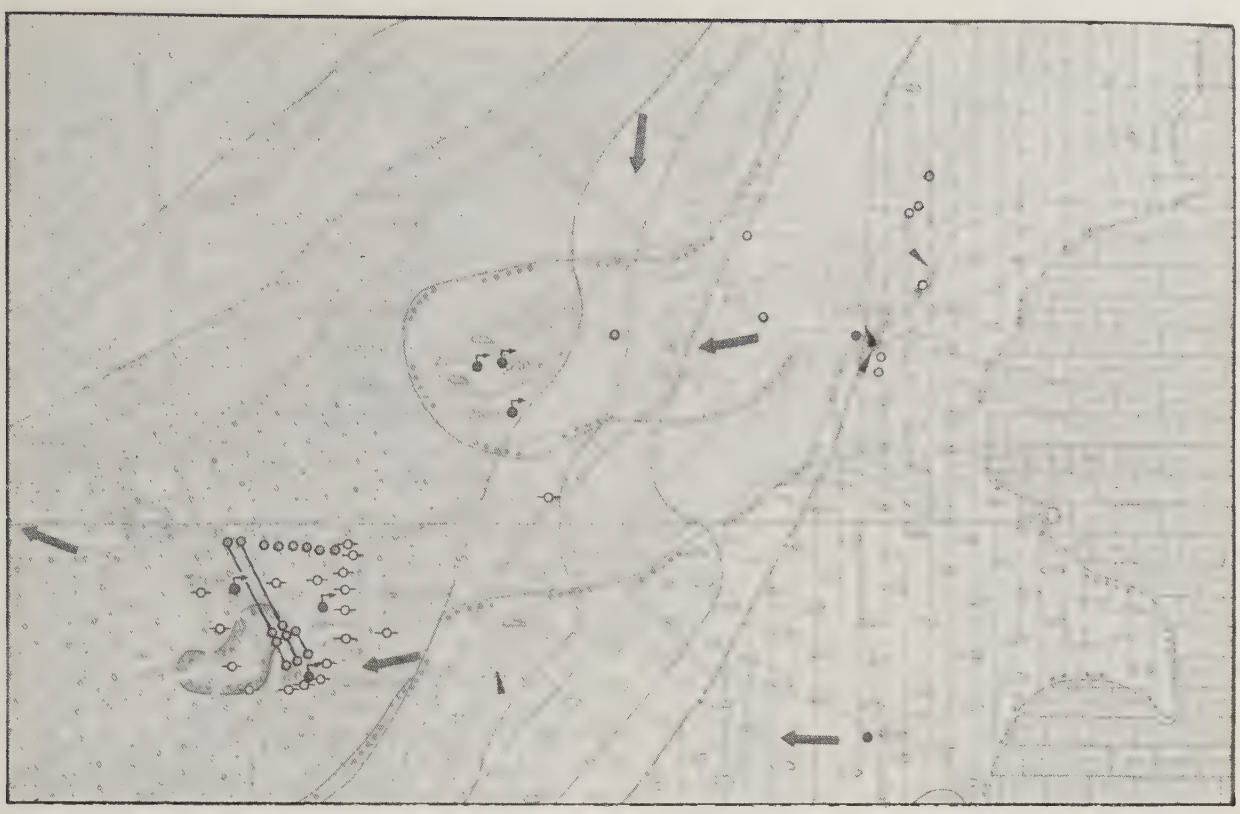


Fig. 10b shows not only important springs, wells and test-drillings, but also various wells used as observation wells for hydrogeological networks. Where the depth of the wells and test-drillings is known this is shown on the map with figures. Waste disposal areas, gravel pits with exposed groundwater table and oiltanks (mainly for local heating purposes) are also marked where known. Where well protection zones or areas exist in connection with municipal water supply works, they are illustrated, as is the main direction of the groundwater flow. The latter is of course the same as shown in Fig. 10a.

Fig. 10b visar även den inte bara viktiga källor, brunnar och undersökningsborrningar utan även brunnar vilka reguljärt används som observationsbrunnar för följandet av grundvattenytans nivåförändring. Där man känner de olika brunnarnas djup är detta angivet på kartan med siffror. Områden för avfallsdeponering, grustäkter med fri grundvattenyta och oljetankar (huvudsakligen i privata hus för värmeändamål) redovisas i mån av kunskap om förhållandet. Även skyddsområden för grundvattentäkter redovisas såväl fastlagda som föreslagna. Grundvattnets huvudsakliga rörelseriktning visas även på denna karta.

Groundwater in the crystalline rock, which constitutes most of the Swedish bedrock, is usually available everywhere, but the capacity of each well is often very low. Nevertheless approximately 8 000 to 10 000 wells are drilled every year in this bedrock. The median capacity is around 0.2–0.4 l/s but capacities of 1 l/s are not unusual. The capacities of the wells do not, however, reflect the total groundwater potential of the area. The influence of one well on another varies widely because of the anisotrophy of the bedrock. The thickness and the type of deposits covering the bedrock also play an important part in the water balance system (Möller, Engqvist, Müllern, Bengtsson, 1971; Möller, Engqvist, Müllern, 1971; Möller, Järnefors, Engqvist, Müllern, 1974; Möller, Engqvist, Müllern, 1974).

In sedimentary rocks the well capacities are normally higher than for wells in crystalline rocks. The median capacity in most of these formations, usually Cambrian sandstone and Ordovician limestone, approximates 1–2 l/s, the variation largely depending on the depth of the formation and the diameter of the well, but capacities of 4–8 l/s are not uncommon. Such wells are, however, nearly always situated close to larger fault or fracture systems and do not reflect the permeability of the rock itself (Möller, Engqvist, Müllern, 1974).

An experimental hydrogeological map series using a scale of 1:50 000. Results and conclusions

In 1969 the author initiated a test-series of four hydrogeological maps using the scale 1:50 000. The mapped area surrounded the city of Örebro for which new geological maps of the Ae-series were available (Fromm, 1972, Ae 5; Magnusson, 1970, Ae 6; Magnusson, Gorbatschev, 1972, Ae 7; Magnusson, Lundegårdh 1972, Ae 8). The new hydrogeological map series was designated Series Ag and the corresponding maps numbered Ag 1, 2, 3 and 5.

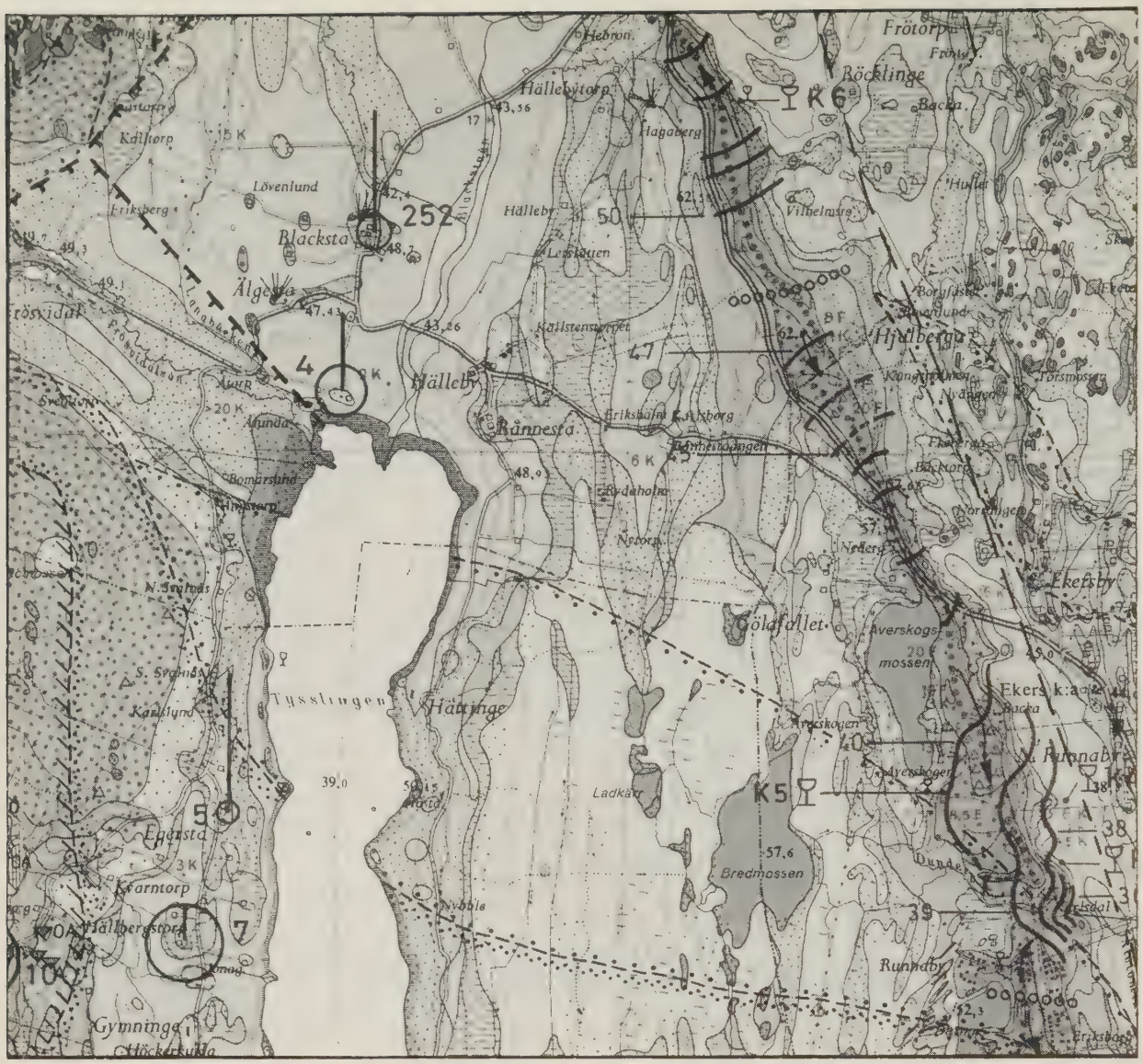


Fig. 11. Part of Hydrogeological Map Örebro NV, Sver. Geol. Unders., Ag 3. The hydrogeological information is concentrated on the conditions of the esker system located at the right-hand side of the figure. Groundwater divides are shown, as well as the main direction of groundwater flow and the equipotential lines of the groundwater table in m above sea level. Springs with their identification number are marked. The conditions outside the esker systems were not investigated, as the overburden here largely consists of till, clay and organic soils. However, investigations of the geohydrological conditions of the till were performed and are reported in the handbook.

The geohydrological conditions of the bedrock are indicated by the locations of wells drilled in the various formations. The capacity of the wells are illustrated by circles, the larger the circle the greater the capacity. Five intervals are used:

< 400 litres per hour
400–900 "
900–1800 "
1800–3600 "
> 3600 "

The depth of the well is indicated by the relative length of the vertical line extending from the middle of the circle. A reference scale is given in the margin.

The quality of the water is indicated for wells where the content is above the level permitted by the Swedish health authorities. For example high contents of iron, manganese, chloride and total hardness are denoted by the letters Fe, Mn, Cl or TH printed close to the well symbol. Unfortunately no such wells exist within the example illustrated.

Where main municipal wells exist, they are also shown together with accomapnying protection areas or zones.

Fig. 11. Den hydrogeologiska informationen presenterad på denna karta är koncentrerad till förhållandena i den grusås som i detta fall återfinns på kartbildens högra sida. Grundvattendelarna i åsen redovisas liksom grundvattnets rörelseriktning och grundvattennivån (i m ö.h.). Källor med registreringsnummer anges även. Förhållandena i jordlagren utanför själva åssystemet redovisas inte på kartan. Dock har vissa översiktliga undersökningar utförts beträffande moränjordarnas geohydrologiska egenskaper. Dessa redovisas emellertid inte på kartan men i kartbladsbeskrivningen.

De geohydrologiska förhållandena i berggrunden representeras genom angivandet av läget på vissa bergborrade brunnar samt det djup och den kapacitet som brunnen har. Brunnsdjupet representeras av den vertikala linjen och en referensskala finns angiven i teckenförklaringen. Kapaciteten anges med cirklar, ju större cirklar desto större kapacitet. Följande kapacitetsintervall har använts:

< 400 liter/h
400–900 "
900–1800 "
1800–3600 "
> 3600 "

I de brunnar där vattenbeskaffenheten är sådan att de av medicinalstyrelsen satta gränsvärdena överskrids anges detta med beteckningen Fe, Mn, Cl och TH för järn, mangan, klorid och den totala hårdheten.

Kommunala vattentäkter anges även liksom skyddsområdesgränser (i de fall sådana föreligger).

To reduce costs it was decided to use the geological maps of the Ae-series as base maps, and print the hydrogeological information thereon. This procedure, however, severely restricted the choice of colours and symbols which could be used. The advantage, on the other hand, was that the surface geology was shown in detail. The hydrogeological information was printed in dark blue and the tectonic in black. A similar map, here printed in black and white, is shown in Fig. 11.

Review of existing geological maps. — In order to comprehend the development, lay-out etc. of the hydrogeological maps of the Ag-series, a brief discussion of the principal geological maps produced by the Geological Survey is necessary. Three different types exist, Aa, Ae and the Af-series. The Aa-series combines Quaternary and petrological maps, while the Ae-series comprises maps of the Quaternary deposits, and the Af-series consists of both petrological and geophysical maps. The maps of prime interest in hydrogeology are the Ae- and Af-series. All three series use the scale 1:50 000. The Aa-series was produced between 1862 and 1965 and succeeded in 1964 by the Ae-series. The Af-series started in 1967.

As most of the groundwater-bearing formations of interest consist of glacial deposits of Late Quaternary date, maps of the Ae series are the basic guide to the location of such deposits. These maps are conventional geological maps in which a two-dimensional lay-out is used for the representation of the geological conditions. As a result, the maps are only accurate regarding the areal distribution of the various formations, and provide no information on the vertical conditions. As a rule they are only accurate or representative for the upper half metre below the surface. Moreover very little information is available, or incorporated in the maps, concerning the stratigraphy and thickness of the various formations. This lack of three-dimensional information is a severe handicap to the use of these maps in hydrogeology. In many countries the steep increase in the demand for better hydrogeologic and engineering geology information has caused this kind of two-dimensional map to be replaced by maps in which more attention is paid to the vertical distribution and the physical conditions of the various formations or deposits.

The Af-series shows the bedrock according to petrographical classifications. Major tectonic features, such as large faults and fracture zones, are indicated when known, as well as the direction of the dip and strike foliation of the layers. During the last decade special maps have also been developed in which the tectonics and geophysical properties of the bedrock are shown in greater detail on the basis of aerial geophysics and interpretation of aerial photographs. They have proved to be of additional help in groundwater exploration. Yet they could be further improved if shear zones and fractures caused by tensional forces were differentiated. Such a separation is often difficult unless special studies are made on the ground. The suggested differentiation must nevertheless be considered as of utmost importance in connection with groundwater studies, and more attention should be paid to this problem.

Hydrogeological parameters shown on the hydrogeological test maps. — Due to the limitations imposed by the use of an already colourful and detailed geological map as base map, hydrogeological parameters such as transmissivity, porosity, safe yield etc. could not be marked by the internationally accepted use of a specific colour for a specific area. The geology, as shown on the base map, would have been confused or erased, and the printing itself rather difficult with respect to the selection of colours, as requiring additional colours and symbols. Therefore, the international map legend could not be used. Instead, the following factors regarding groundwater in the Quaternary sand and gravel deposits were illustrated: a) groundwater divides, b) springs, c) main direction of groundwater flow, d) groundwater level and e) main municipal groundwater wells (works).

Regarding groundwater in hard rock, usually pre-Cambrian granites and gneisses, the following hydrogeological parameters or factors are shown: a) well location, b) depth of well, c) capacity of well, d) chemical quality (chloride, iron, manganese, hardness, corrosiveness). Tectonic features such as larger faults, zones of joints and the boundary between various rock types are also shown where known.

Regarding wells, both in Quaternary deposits and in bedrock, only important or otherwise interesting wells are marked. An identification number was assigned to each well, and its characteristics given in the description which accompanies the map. On the hydrogeological maps Ag 2 and 5 some additional symbols are used for subsurface groundwater leakage and artificial infiltration of groundwater. Further additional symbols of various types can of course be used where necessary. A map of this type is shown in Fig. 11, page 20.

Field work. — As pointed out before, the formations of major interest in groundwater exploitation in Sweden are sand and gravel deposits. Since the existing geological maps only show the superficial distribution of such formations, a considerable amount of field work had to be directed towards three-dimensional investigations, particularly of the esker systems. The field work, which usually took place during the summer months, included collection and evaluation of available information on previous groundwater investigations and an extensive testdrilling and geophysical investigations. An inventory was made of wells along the eskers and the groundwater levels in these wells measured to establish the surface of the groundwater and the main direction of groundwater flow, the groundwater divides, etc. Water samples were collected and analysed. The groundwater conditions in the bedrock were analysed after collection of information from well drillers and owners of such wells (including the archive of the Geological Survey). Some wells were also test-pumped. Groundwater elevations in wells outside the esker systems were not generally measured, since wells in clay, till or crystalline rocks normally represent purely local conditions. Here the groundwater level or surface tends to follow the general topography.

The field work for each map area was planned and supervised by the author, while the actual surveying was performed by two geologists together with two technicians and four to five "extra geologists or temporary geologists" (normally students or university graduates who work three or four months during the summer). About one to one and

half field seasons were needed to collect and evaluate the necessary information.

Result and conclusions.

The groundwater investigation was concentrated on sand and gravel deposits. The various groundwater basins or reservoirs were defined, together with the direction of groundwater flow, groundwater divides, larger springs, major water works (wells) and the groundwater surface. An estimate of the groundwater potential for each basin was also made as a rule and included in the accompanying map description.

Regarding the hydrogeological conditions of deposits other than sand and gravel, e.g. till, a study was normally carried out in which the capacity of various wells was analysed (Möller, Engqvist, Müllern, Bengtsson, 1971:35; Möller, Järnefors, Engqvist, Müllern, 1974:22; Möller, Engqvist, Müllern, 1971:28; Möller, Engqvist, Müllern, 1974:30). Mathematical formulae were devised whereby the transmissivity could be calculated on the basis of such tests (Engqvist, Olsson, 1974).

The capacity of wells and the groundwater potential of the pre-Cambrian rock is generally difficult to predict. The groundwater is stored in, and moves along, faults, fractures, etc., and the capacity of a well depends to a great extent on purely local conditions. Consequently a detailed analysis of the various fracture systems etc. is presented in the description to each map. Where sufficient data were available, variation in capacity was analysed for wells in various rock types (Möller, Engqvist, Müllern, Bengtsson, 1971:46; Möller, Järnefors, Engqvist, Müllern, 1974:31; Möller, Engqvist, Müllern, 1971:48; Möller, Engqvist, Müllern, 1974:43).

In a summary of the above test series of hydrogeological maps the following conclusions and remarks can be made:

1. The lay-out and content of the maps diverge from international standards. This was a consequence of using the standard geological map as base map, and superimposing the additional hydrogeological information. Many hydrogeological parameters of interest could therefore not be shown, as requiring additional colours. These was excluded by the already colourful nature of the geological map.

2. In areas outside the esker systems investigations of the hydrogeological conditions of the till (including its dependence on the topography) were carried out. The result was a much better understanding of the capacity of wells in these formations, and it is recommended that similar investigations be made in future hydrogeological mapping.

3. The occurrence and distribution pattern of groundwater-yielding material (formations) in areas, where the superficial deposit is clay, is of great interest. Sufficiently large amounts of groundwater for villages, farms, etc., can usually be drawn from such deposits. Hydrogeological studies of such formations, however, require more test drilling than is normally done during the standard geological mapping. If more attention could be paid to this problem in connection with the geological mapping the cost in time and money of the hydrogeological field work could be drastically reduced. It is recommended that the problem be reviewed by the Geological Survey.

4. The accuracy of the determination of the groundwater elevation in selected wells was within 0.05 m, and of the groundwater contours shown on the maps approximately 0.2 m. The levelling was done with theodolites, and represented 60 to 70 % of the total field work. It was found that this high accuracy was not necessary. Levelling measurements using instruments sensitive to changes in the barometric pressure (altimeters) with an accuracy of 0.5 m were then tried. This method was found sufficient, as it permitted the contour lines of the maps to be drawn with a similar accuracy. This method is recommended for use in the future.

5. The geological maps in the Ae-series contain some irrelevancies in connection with springs. Most of the springs shown on these maps are small and without perennial flow and thus of little interest. However, a point of more concern is that larger springs, often associated with the esker system, are too often not shown on the map at all. The problem probably depends on limited knowledge of hydrogeology on the part of the geologists working on these maps. To increase the value of the geological map, more attention should be paid to this problem.

6. One of the more important conclusions from this series is the need for geological maps in which far more attention is paid to the vertical distribution and physical properties of the various formations or deposits. The information given on the present maps may suffice for many purposes but in engineering geology and hydrogeology, data concerning, in particular, the thickness, stratigraphy and variation in depth of the various formations, are always needed. Thickness of sand and gravel deposits are of special interest, whether or not they are covered with some other material (formation).

During this study of the development of modern hydrogeological maps it soon emerged that these maps should conform more closely with internationally accepted legends and lay-out systems. It was also evident that on many occasions there was a tendency among geologists to overemphasize these problems while paying no, or very little, attention to another and far more important problem, namely the quantification of the groundwater resources. The discussion instead usually concentrated on the sign or symbol to be used or the colour a certain formation should have. The problem of how to calculate or estimate the safe yield of an aquifer system was seldom regarded as essential, as this was normally considered to be outside the scope of the map. Nevertheless, in the author's opinion modern hydrogeological maps, apart from the standard or normal hydrogeological parametres, should also as far as possible indicate the estimated groundwater potential of the various hydrogeological systems. The matter is further elucidated on pages 27 and 28.

Another matter of concern is the present low production rate of hydrogeological maps, approximately 1 1/2 to 2 maps on the 1:50 000 scale per year (1976). Since some 200 maps to this scale must be produced if the southern and central Sweden are to be covered, the time needed will exceed 100 years with the present number of personnel engaged in hydrogeological mapping. Even with improved

mapping techniques and a fivefold increase in hydrogeologists it will take some 15 to 20 years to map the most important areas of Sweden, using the 1:50 000 scale. As such an increase in manpower most certainly will not be made available due to financial and personnel limitations some other means of presenting the hydrogeological situation must be found.

Proposal for future hydrogeological map models in Sweden

The development of hydrogeological test maps revealed a great demand for both small scale maps and detailed large scale maps. During an investigation carried out by SGU in 1976 (unpublished) concerning the need for hydrogeological maps, this opinion was stressed by several county and governmental agencies. Most in demand was a detailed map using the 1:50 000 scale. However, considering the limited budget available for hydrogeological mapping and the small output of such maps, most agencies instead favoured the production of a less detailed small scale map. Wider areas of Sweden could thereby be hydrogeologically investigated far more rapidly than the more detailed mapping using the 1:50 000 scale would permit. Nevertheless a concentration of the resources on small scale mapping should not exclude the production of large scale maps in areas where such maps are in great demand. The standard map scale used by Swedish planners is 1:250 000. The most suitable map scales for the future hydrogeological maps should therefore be 1:250 000 and 1:50 000.

In late 1976 the author together with a panel of geologists of the Geological Survey began work on the development of two new hydrogeological map models. The first model was a fairly detailed map to a scale of 1:50 000 and the second a less detailed map of 1:250 000. Both models conform as far as possible with international standards. In 1977 a first test print of the proposed map models was ready. The hydrogeological characteristics of both the Quaternary deposits and the bedrock are here shown together. On the 1:50 000 map this system limit the choice of symbols and the use of various colours. An alternative map model of this scale was therefore developed by the author in which the hydrogeological characteristics of the Quaternary deposits are shown on one map and those of the bedrock on another. In the following paragraphs the various map models will be presented and their advantages and disadvantages discussed.

Hydrogeological map models, 1:50 000

General Considerations. — The formations of prime interest are the glaciofluvial deposits of sand and gravel. As these usually form long and narrow aquifer systems with rapidly changing hydrogeological conditions the routine method of analysing and presenting groundwater data by means of, for example, transmissivity data is difficult to apply, because of the extreme anisotrophy of the hydrogeological system. The presentation on a map of e.g. the transmissivity is therefore not particularly useful. Thus, some other ways of indicating the groundwater potential had to be found. The most practical solution seemed to be to show the estimated potential of the various aquifer systems principally based—apart from infiltration and evaporation conditions—on areal extent, depth, infiltration area and extraction possibilities.

The same basic considerations could be applied to the occurrence of groundwater in the crystalline bedrock. Due to the extreme anisotrophy and the generally very low value of the transmissivity, it was found that the best way of depicting the groundwater potential (or rather the groundwater availability) was to show the median capacity of wells drilled in the various rock formations.

The new map models show either the relative or, when possible, the estimated total groundwater potential of the various formations and their distribution. Moreover the tectonics of the bedrock, such as faults, fractures, dip and strike are shown where known. Locations and capacities of important wells and springs are marked as well as municipal water works, groundwater recharge works, well protection zones where such exist, and garbage disposal areas. Additional parameters can of course be added where necessary. The colours and symbols used on the new map models are as far as possible in accordance with the UNESCO legend. The area covered by the test maps coincides in part with the hydrogeological map Ag 3. The various new map models and the old map model can therefore be directly compared.

Hydrogeological Map Model No. 1. — A possible model for hydrogeological maps to 1:50 000 scale, showing the hydrogeological characteristics of the Quaternary deposits on one map sheet and the corresponding characteristics of the bedrock on another is presented on Maps 1 and 2, designated Map Model No. 1 A and B. The lay-out and the content of these maps are evident from the legend, but some additional information or remarks may be provided.

First we examine Map 1, showing the hydrogeological conditions of the Quaternary deposits. The principal interest is here associated with sand and gravel deposits, irrespective of genesis or age. All known such deposits are marked on the map by two different symbols, one where the formation is a mixture of boulders, gravel and sand and one where the material largely consists of sand. The estimated groundwater potential of each aquifer system is indicated by blue and brown colours corresponding to different capacity intervals. Three shades of blue are used where the deposits are of interest, the fourth colour—light brown—appears in areas where the deposits have no or very low potential. Such areas are not necessarily till and clay areas, but can be sand and gravel deposits topographically located in such a way that no or very limited amounts of groundwater can be stored within the deposits. Areas where the deposits consist of clay, till, organic deposits, thin fluvial deposits, etc., are normally of minor interest. However, it must be emphatically stated that wells with a capacity sufficiently large for single households or farms, etc., can usually be sunk in such areas (or deposits).

A difficult problem connected with the potential intervals concerns the definition or specification of their capacity in terms of extractable groundwater without regard to practical or financial considerations. Such considerations are very important but cannot be included here as they

may vary from area to area and time to time, depending on the degree of interest in, and importance attached to, a particular aquifer system. It is therefore suggested that, for the time being, very high groundwater potential signifies that the extractable amount of water should exceed 5,000 m^3/d as a yearly average (dark blue colour); high groundwater potential and favourable to very favourable extraction conditions means 5,000–1,000 m^3/d (medium blue colour); moderate or higher potential but with limited possibilities for extraction 1,000–100 m^3/d (light blue colour) and deposits without or with very low potential less than 100 m^3/d. The questions of where and how this water is to be extracted are not taken into account.

Where water-bearing deposits occur, or can be expected to occur, below deposits of lower or no groundwater potential, this is shown by solid or dashed horizontal blue lines (solid lines indicate proved conditions, dashed lines assumed).

It has been suggested to the author that more consideration should be directed towards the groundwater potential in areas where the overburden largely consists of till. It is the opinion of the author, however, that this is not feasible as the yeild of wells in till to a large extent depends on local factors, such as the topography, compaction of the formation, the depth of the well below the groundwater table, the diameter of the well, the depth from the surface to the water table, continuous or discontinuous extraction, etc.

Additional hydrogeological information shown on the map includes groundwater divides (both confirmed and inferred positions), the groundwater levels in the esker systems, direction of groundwater flow, and springs. The location of exploration borings, important wells and municipal water works, groundwater recharge works, well protection zones and garbage disposal areas should also be marked. The wells are identified by the numbers assigned to them by the well archive of the Geological Survey. Depth and capacity can be expressed in figures printed around the well symbol according to international usage.

This map model gives a clear view of the location of all known sand and gravel deposits and their real (if approximate) groundwater potential. It is, however, obvious that in most cases additional investigations are needed to calculate the exact amount of extractable water and the most suitable location and design of wells, etc.

The groundwater conditions of the bedrock are shown on Map 2. As most of the bedrock in Sweden consists of crystalline rocks of pre-Cambrian date the lay-out and the legend are primarily focused on the hydrogeological conditions of these rocks. Due to the hydrogeological hetereogenity of crystalline rocks it proved impractical to show the transmissivity of the rock. Nor could such a parameter as the specific capacity (or better the specific capacity per metre aquifer) be used due to the lack of reliable data. Because of these limitations the most suitable solution was found to be a study of the frequency distribution of the capacities of wells in various rock-types, the median capacity being used as an identification or classification factor. Four capacity intervals were selected: 1) wells with a capacity exceeding 6,000 l/h, 2) wells with capacities between 6,000 and 2,000 l/h, 3) wells with capacities between 2.000 and 600 l/h and 4) wells with capacities less than 600 l/h. The first three intervals are indicated on the map with various shades of green, the fourth (well with capacities less than 600 l/h) is shown with light brown colour.

The distribution of various rock types is shown on the map together with major tectonic features. Hydrogeological parameters such as groundwater divides, groundwater levels and the direction of groundwater flow are, however, only given for aquifers in sedimentary rock formations, as in crystalline rocks such parameters are of limited value. Here the groundwater level usually follows the surface topography, and the direction of flow, for example, can therefore easily be determined.

A situation in which several sedimentary aquifers are located on top of each other can be described by special symbols. Another method is to show only the best aquifer and disregard the rest. The author, however, considers this latter solution unacceptable, as a hydrological relationship or interaction almost invariably exists between adjacent aquifers. The possibilities of interactions must therefore be shown on a hydrogeological map.

Apart from the hydrogeological and geological parameteters described above features such as important wells, municipal water works, well protection zones and garbage disposal areas are marked. Regarding the parameters shown on the two separate maps belonging to the above model, it must be stressed that additional, relevant hydrogeological, chemical, technical, etc., information should of course be added where necessary. Eventually a third or fourth map sheet could be used for such supplementary data if these prove copious.

Hydrogeological Map Model No. 2. — Another way of presenting hydrogeological information, in contrast to Map Model No. 1 described in the previous paragraph, is to show all pertinent information on the hydrogeological conditions of both the Quaternary deposits and the bedrock on a single map sheet. This model, called Map Model No. 2, was favoured by Geological Survey, and prepared by the author and a panel of geologists from the survey. An example of this map model is given on Map 3. The chief advantage of this system is that only one map is needed. The cost of printing is also reduced.

Another major advantage is that any interaction between alluvial and bedrock aquifers can be more easily detected on such a map than on Model No. 1. The chief drawback, on the other hand, is that the data are usually extensive and the map difficult to read. Furthermore where sand and gravel deposits cover large areas, significant information on the underlying bedrock will be missing.

Another important difference between Map Model No. 1 and 2 is that on Model 2 no potential intervals are given for the alluvial aquifer systems. Such intervals were advocated by the author but not by the panel. They objected on the ground of the impossibility of estimating the potential with the needed accuracy without detailed investigations. In the author's opinion, however, this is possible in most cases.

Where the information to be printed on the map tends to be extensive, it is suggested that an additional map, using the same scale and showing for example the locations, identification number, capacity of more important wells, where geophysical investigations, groundwater studies, etc., have been carried out, be prepared and attached to the hydrogeological map. This additional map can be printed in black and white and could be revised when necessary. Moreover special maps showing, for example, the

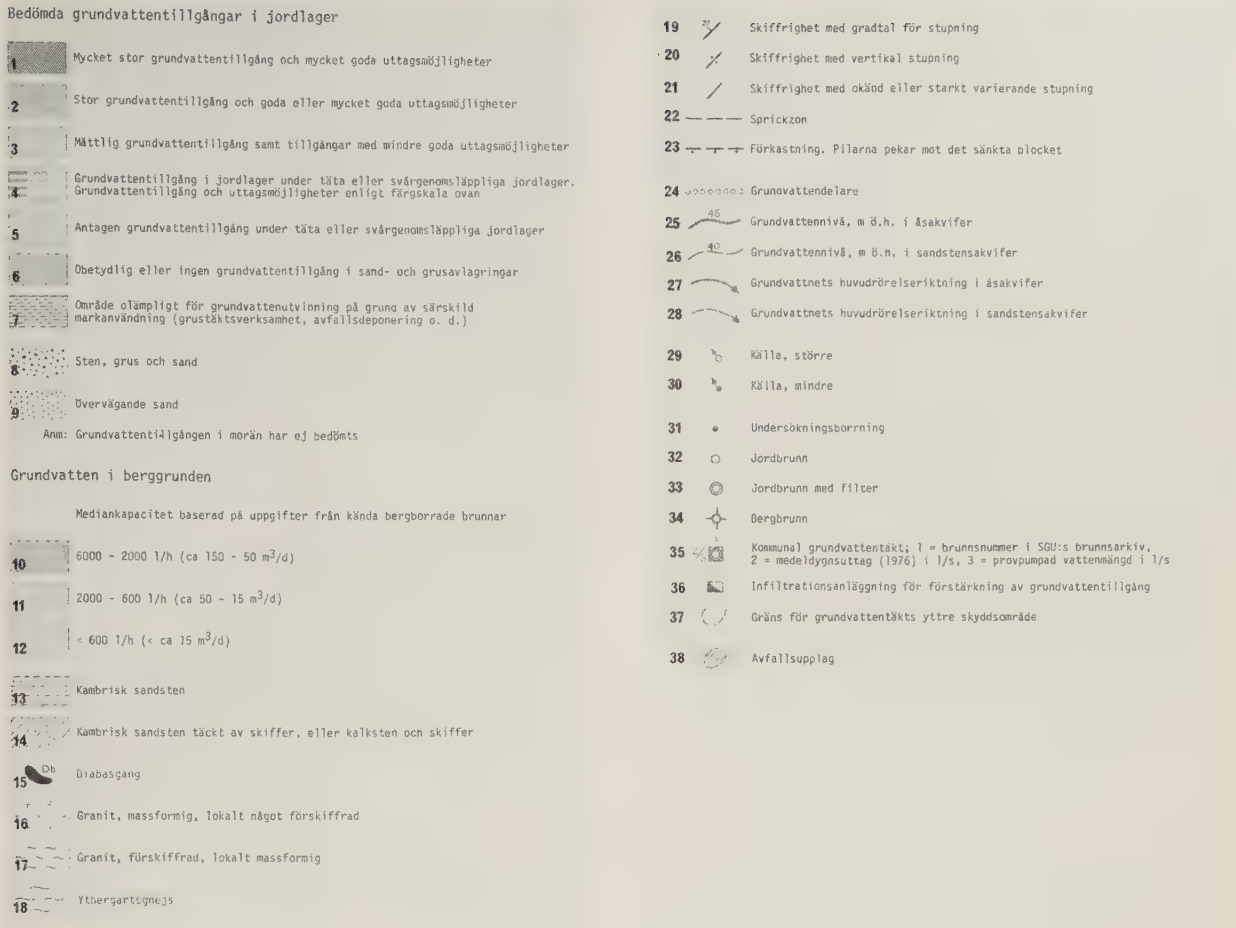

Bedömda grundvattentillgångar i jordlager
1 Mycket stor grundvattentillgång och mycket goda uttagsmöjligheter
2 Stor grundvattentillgång och goda eller mycket goda uttagsmöjligheter
3 Måttlig grundvattentillgång samt tillgångar med mindre goda uttagsmöjligheter
4 Grundvattentillgång i jordlager under täta eller svårgenomsläppliga jordlager. Grundvattentillgång och uttagsmöjligheter enligt färgskala ovan
5 Antagen grundvattentillgång under täta eller svårgenomsläppliga jordlager
6 Obetydlig eller ingen grundvattentillgång i sand- och grusavlagringar
7 Område olämpligt för grundvattenutvinning på grund av särskild markanvändning (grustäktsverksamhet, avfallsdeponering o. d.)
8 Sten, grus och sand
9 Övervägande sand
Anm: Grundvattentillgången i morän har ej bedömts
Grundvatten i berggrunden
Mediankapacitet baserad på uppgifter från kända bergborrade brunnar
10 6000 - 2000 l/h (ca 150 - 50 m3/d)
11 2000 - 600 l/h (ca 50 - 15 m3/d)
12 < 600 l/h (< ca 15 m3/d)
13 Kambrisk sandsten
14 Kambrisk sandsten täckt av skiffer, eller kalksten och skiffer
15 Db Diabasgång
16 Granit, massformig, lokalt något förskiffrad
17 Granit, förskiffrad, lokalt massformig
18 Ytbergartsgnejs
19 Skiffrighet med gradtal för stupning
20 Skiffrighet med vertikal stupning
21 Skiffrighet med okänd eller starkt varierande stupning
22 Sprickzon
23 Förkastning. Pilarna pekar mot det sänkta blocket
24 Grundvattendelare
25 45 Grundvattennivå, m ö.h. i åsakvifer
26 40 Grundvattennivå, m ö.h. i sandstensakvifer
27 Grundvattnets huvudrörelseriktning i åsakvifer
28 Grundvattnets huvudrörelseriktning i sandstensakvifer
29 Källa, större
30 Källa, mindre
31 Undersökningsborrning
32 Jordbrunn
33 Jordbrunn med filter
34 Bergbrunn
35 1 Kommunal grundvattentäkt; 1 = brunnsnummer i SGU:s brunnsarkiv, 2 = medeldygnsuttag (1976) i l/s, 3 = provpumpad vattenmängd i l/s
36 Infiltrationsanläggning för förstärkning av grundvattentillgång
37 Gräns för grundvattentäkts yttre skyddsområde
38 Avfallsupplag

Fig. 12. Legend to Map 3.

1 Very large groundwater potential with excellent possibilities for extraction
2 Large groundwater potential with good to excellent extraction possibilities
3 Medium groundwater potential or other areas with limited extraction possibilities
4 Confined aquifer. Potential according to colour scale given in 1, 2 and 3
5 Confined aquifer, assumed
6 Very low to no groundwater potential in sand and gravel deposits
7 Area not suitable for groundwater abstraction due to special conditions (gravel mining, waste disposal etc.)
8 Stones, gravel and sand
9 Mainly sand

Median capacity of wells drilled in bedrock

10 6000—2000 litres per hour
11 2000—600 litres per hour
12 < 600 litres per hour
13 Cambrian sandstone
14 Cambrian sandstone covered with shale or limestone and shale
15 Dolerite dyke
16 Granite
17 Granite, usually schistose in character
18 Gneiss
19 Schistosity with indication of dip
20 Schistosity with vertical dip
21 Schistosity with unknown or highly variable dip
22 Fracture zone
23 Fault zone. Arrows indicate the lowered block
24 Groundwater divide
25 Groundwater level in m above sea level in esker aquifer systems
26 Groundwater level in m above sea leve in sandstone aquifers
27 Main direction of groundwater flow in esker aquifer systems
28 Main direction of groundwater flow in sandstone aquifers
29 Spring, large
30 Spring, small
31 Exploration drilling
32 Well
33 Well with filter screen
34 Well in bedrock
35 Municipal groundwater work: 1 = well number in the archive of Geological Survey, 2 = average daily extraction in litres per second, 3 = capacity during test-pumping in litres per second
36 Infiltration basin for artificial recharge
37 Outer boundary for groundwater protection zone
38 Waste disposal site

groundwater chemistry and quality can be prepared when need arises.

Hydrogeological Map Model, 1:250 000

Model no. 3. — The purpose of this map, Map Model No. 3, presented on Map 4 and prepared by the author and a panel of geologists at the Geological Survey, is to show the general distrubution of Quaternary deposits and various types of bedrock, with regard to their groundwater potential. Only major formations of interest in connection with groundwater hydrology are shown. Such deposits are generally the esker systems of glaciofluvial origin. The

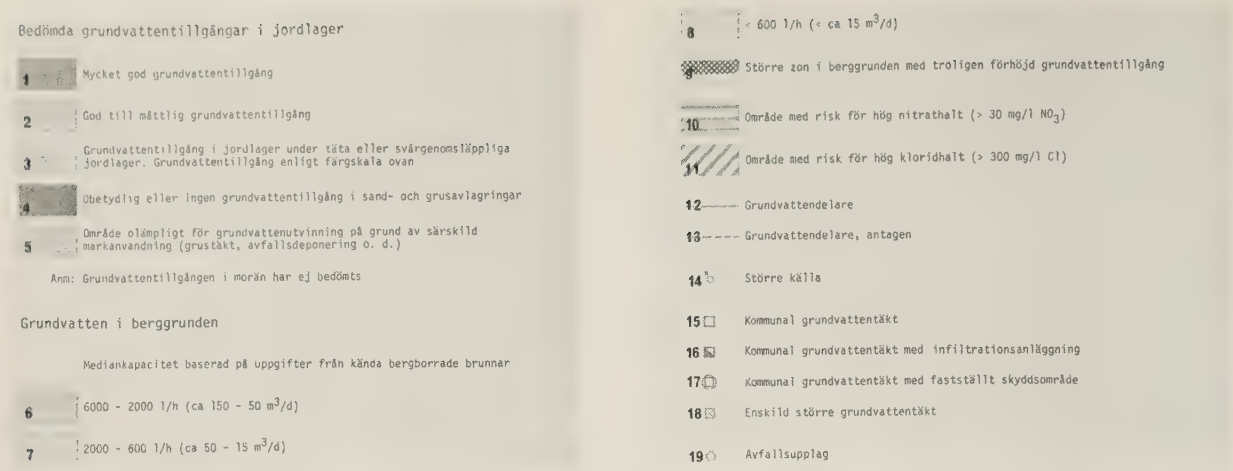


Fig. 13. Legend to Map 4.
1 Very large groundwater potential
2 Large to medium groundwater potential
3 Confined aquifer. Potential according to colour scale given in 1 and 2
4 Very low to no groundwater potential
5 Area not suitable for groundwater abstraction due to special conditions (gravel mining, waste disposal etc.)
Median capacity of wells drilled in bedrock
6 6000–2000 litres per hour
7 2000–600 litres per hour
8 < 600 litres per hour
9 Large fracture zone in bedrock with assumed increased groundwater potential
10 Area with possible high nitrate potential
11 Area with possible high chloride potential
12 Groundwater divide
13 Groundwater divide, assumed
14 Larger spring
15 Municipal groundwater work
16 Municipal groundwater work with artificial recharge
17 Municipal groundwater work with protection zone
18 Larger groundwater work, private
19 Waste disposal site

basic principle followed in the presentation of the hydrogeological information is the same as in the previously described model No 2, i.e. the indication of the relative potential of the various groundwater systems. Furthermore, the rather small scale imposes certain limitations on the number of parameters which can be shown. For example, the direction of groundwater flow cannot easily be marked in connection with the often narrow, winding esker systems. This information can in most cases, however, be derived from analysis of the location of the groundwater divides, the topography, the direction of flow of surface waters, etc.

The hydrogeological characteristics of the bedrock are based on the median capacity of wells. The map does not, however, contain a description of the crystalline rock, as this information is considered to be of limited interest. Geological information of this nature is perhaps better presented in the regular map series.

Description of the map model. – The map model shows the area between the cities of Västerås, Enköping and Sala. Two large esker systems cross the area. The estimated relative groundwater potential of the various groundwater basins within these esker systems is divided into three groups: a) very high potential, b) high to moderate potential and c) no or very low potential. In this case too the geologists of the Geological Survey considered it impossible to give accurate estimates of the groundwater potential, favouring the system of relative potential. The occurrence of groundwater bearing formations or deposits located below superficial formations with lower groundwater potential is indicated. The location of groundwater divides, either confirmed or inferred, is also shown, as well as larger springs. Horizontal red lines indicate areas or parts of groundwater-bearing formations unsuitable for groundwater extraction because of restrictions created by building activities, gravel mining, waste disposal dumps, etc. Areas where the chemical quality imposes limitations are shown by yellow lines, e.g. areas with high nitrate, chloride, etc.

The groundwater-bearing characteristics of the bedrock are divided into three groups: a) areas where the median capacity varies between 6,000–2,000 l/h (medium green), b) 2,000–600 l/h (light green) and c) areas where the median capacity is less than 600 l/h (light brown). Larger fault or fracture zones with a groundwater potential higher than the surrounding areas are also marked (where known).

Municipal groundwater works, usually only the wells, are marked. Infiltration or other recharge facilities are also shown, as well as protection zones where such exist. Additional parameters can be shown where necessary. Symbols and colours should follow international practice.

The major weakness of this map model (as with Model No. 2) is that the groundwater potential of the Quaternary deposits is indicated in relative terms, and no capacity figure or interval is given. Without capacity figures the maps can easily be misinterpreted. This belief of the author was, however, not shared by the rest of the panel. The reason for this difference in view is the difficulty in estimating the potential of the various aquifer systems without test drilling, test pumping, etc. In the author's opinion, however, sufficiently reliable estimates can be made by an experienced hydrogeologist.

In order to improve this model the following capacities and intervals, as yearly averages, are suggested by the

author for use in future maps of a similar kind: a) very high potential — 5,000 m^3/d or more — medium blue colour, b) high to moderate potential — 5,000—1,000 m^3/d — light blue and c) deposits with no or very low potential — less than 1,000 m^3/d — dark brown. The capacities attributed to the various groups are chiefly based on common demand figures for municipal water supply systems. This explains why, for example, 900 m^3/d is here defined as of little interest, while the same amount in connection with small villages, farms, etc., may be large enough. The potential figures or intervals suggested by the author can of course be changed if this is found necessary.

Discussion and conclusions

It is possible to draw some interesting conclusions from the above review of the hydrogeological mapping practice in some European countries. The most important is however not the hydrogeological maps in themselves but the effect of the production of these maps on the standard geological maps and mapping practice. Because of limitations in equipment, funds, and sometimes also in the minds of geologists, drilling and the use of geophysical exploration methods, etc., have been relatively little used in the course of standard geological mapping. As a result most geological maps show the geological formations or conditions in a rather simple two-dimensional way. On these maps the boundaries between, for example, different formations are usually sharply defined while very little is known or indicated about the vertical stratigraphy and the variation in thickness of different deposits. However, with the increasing demands for better knowledge of the geological conditions made by engineers, building contractors (not forgetting hydrogeologists) far greater emphasis is now being placed on the development and production of more three-dimensional maps, for example the maps from Hungary and Germany reviewed on pages 9—17. A similar trend in the development of more three-dimensional geological maps can not however be found in Sweden, although some very interesting and promising proposals regarding large scale engineering-geological maps have been made at the Geological Institute at Chalmers University of Technology and the University of Gothenburg (Holmstrand, Wedel, 1977).

The development of hydrogeological maps in Sweden started relatively late, in comparison with most other countries. It was not until the late 1960's that hydrogeology, as a subject of interest, won recognition by the Geological Survey. This was partly prompted by the activities initiated by the International Hydrological Decade (IHD) and, to some extent also stressed by various county and government agencies involved in soil and water conservation, water resources planning, building contractors, well drillers, etc.

The situation enabled the author in 1969 to start on the development of hydrogeological maps as previously described. These maps were favourably received, although, by international standards, they must be considered as somewhat poor due to the limitations imposed by the printing method. The new generation of hydrogeological maps, the lay-out, etc., of which are described in this paper, is the result of the experience and both positive and negative criticism encountered during the work on the first test map series. The most urgent improvements presented on the new map models include the use of internationally accepted legends and map lay-out. The quantification of the groundwater potential with respect to the amount of water that can be extracted is another important problem. The solution suggested by the author, has attracted some criticism but no alternative has been proposed.

Hydrogeological maps should contain profiles and satellite maps when needed. These maps and profiles should be printed in the margin of the main hydrogeological map in accordancce with international usage. This will elucidate the three-dimensional presentation.

Regarding the question of whether there should be one map depicting the hydrogeological conditions of the overburden, and another for the hydrogeological conditions of the bedrock is not a serious one. The model to be used can vary from area to area depending on the nature of the deposits and their areal extent, and the amount of information to be printed on the map. In areas of sedimentary bedrock, separation of the hydrogeological data on the overburden and the bedrock is probably the best solution.

In hydrogeological mapping the amount and the quality of available information is of great concern. Such information is generally presented in the form of geological maps. Since these mostly show the geological conditions in a two-dimensional manner, misinterpretation or misuse of such maps is not uncommon, particularly in the context of hydrogeological and engineering problems. For example, sand and gravel deposits valuable both as construction material or in connection with groundwater extraction can often be found covered with till or clay in certain areas in Sweden. The existence of such formations is rarely indicated on the geological maps produced by the Geological Survey. A trained geologist may understand the situation, but such a geologist is seldom consulted. As a result a considerable amount of time and money is wasted in order to clarify the situation. In consequence it is recommended that more emphasis be paid to variation in depth and stratigraphy of the vairous formations during the production of the geological maps. This will greatly improve their usefulness, not only in connection with groundwater problems but also in many engineering, agricultural and similar projects. In many other European countries such a development is already under way.

Hydrogeological mapping in Sweden must, while meeting the most urgent demand, be greatly increased also in terms of quantity. At present, the most important development in such mapping would be the production of a map series using the scale 2:250 000. With such a series large parts of Sweden could be covered with modern, although not too detailed, hydrogeological maps. The present lack of such maps was abundantly documented during the author's investigations. Detailed maps using the scale 1:50 000 should also be produced in areas where there is a great demand for such information. In any case, one or two such maps should be made parallel to the 1:250 000 mapping in order to acquire more experience of this kind of work.

The map models following the guidelines proposed by the Geological Survey, Map 3 and 4, would, in the author's opinion, be greatly improved if the various groundwater-bearing formations were combined or connected with clearly defined potential intervals. The hesita-

tion in doing this on the ground that it is difficult could be overcome through the employment of hydrogeologists.

Acknowledgements. — The generous assistance to this paper by the Director General of the Geological Survey of Sweden, Mr Gunnar Ekevärn, is gratefully acknowledged, especially the generous permission to include the two hydrogeological test-maps (Maps 3 and 4) in this paper. The author would also like to thank all the geologists of the Geological Survey who helped him in this work, particularly Dr. J. De Geer, Mr. P. Engqvist, Dr. G. Knutsson, Mr. C.-F. Müllern, Dr. H. Möller, Dr. G. Persson and Dr. J. Pousette. They formed the most sincere reference and working team for the development of the hydrogeological maps, although marked differences in opinion between some members of the groups and the author sometimes occurred. Important information concerning the geological and hydrogeological mapping in the neighbouring Scandinavian countries was given by Drs. K.Ö. Bryn, J. Hyyppä, and A.V. Nielsen. The author would also like to express his deepest gratitude to Professor L.K. Königsson of the Department of Quaternary Geology, Uppsala University, for his wholeharted support of and dedication to this work. Mrs. Maureen Gray, B.A., T.K., made the linguistical revision of the manuscript.

REFERENCES

Andersen, L.G., 1973: Cyclogram technique for geological mapping of borehole data. — *Danm. Geol. Unders. , III Række, Nr 41.*

András, R., 1975: Geological Atlas of the Great Hungarian Plain — TISZAFÜRED area. — *Hung. Geol. Inst.,* Budapest.

Ellingsen, K., 1975: *Bergen*, Hydrogeological Map, *Nor. Geol. Unders., No. 1115 I.*

Engqvist, P., Olsson, T., 1974: Försök att ur återhämtningskurvor beräkna moränbrunnars kapacitet. — *Vannet i Norden, 4—1974.*

Holmstrand, O., Wedel, P.O., 1977: Ingenjörsgeologisk kartering — *Geol. Inst., Chalmers Tekn. Högskola, Göteborgs Univ., Publ. A 17.*

Huseby, S., 1976: Vannresurskart Hägebostad i 1:50 000 — *Nor. Geol. Unders., Spec. rapport Nr 1.*

Jordbruksdepartementet (Ministry of Agriculture), 1977: Water in Sweden.

Knutsson, G., Fagerlind, T., 1977: Översiktlig beskrivning av Sveriges grundvattentillgångar. — *Sver. Geol. Unders. report.*

Koch, M., Michel, G., Vogel, K., 1971: Hydrogeologische Karte des Kreises Paderborn und der angrenzenden Gebiete 1:50 000. — *Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen.*

Kohl, F., 1971: Kartieranleitung, Anleitung und Richtlinien zur Herstellung der Bodenkarte 1:25 000. — *Bundesanstalt für Bodenforsch. und den Geol. Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland.*

Mengeling, H., Vinken, R., 1975: Die Profiltypenkarte — Ein Schritt in der Weiterentwicklung geologischer Karten. *Landesamt für Bodenforsch. Hannover.*

Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., Bengtsson, P., 1971: Description of the Hydrogeological Map Örebro SV. — *Sver. Geol. Unders., Ag 1.*

Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1971: Description of the Hydrogeological Map Örebro NV. — *Sver. Geol. Unders. Ag 3.*

Möller, Å., Järnefors, B., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1974: Description of the Hydrogeological Map Örebro SV. — *Sver. Geol. Unders. Ag 2.*

Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1974: Description of the Hydrogeological Map Örebro SO. — *Sver. Geol. Unders. Ag 5.*

UNESCO, 1970: International legend for hydrogeological maps.

Summary in Swedish [Svensk sammanfattning]

Den totala kommunala vattenförbrukningen uppgår f n till ca 1 000 milj m^3/år (Jordbruksdepartementet, 1977:28,29). Av denna mängd utgör ca 53 % ytvatten, 26 % naturligt grundvatten och 21 % grundvatten genom konstgjord infiltration. Betydelsen av grundvatten kan ytterligare framhävas om man från denna statistik drar bort de större tätortsregionerna vilka försörjs av ytvatten. Den kommunala vattenförsörjningen baseras då till 71 % på grundvatten (inkluderande konstgjord infiltration). Av 1 510 kommunala vattentäkter utgörs ca 77 % av grundvattentäkter. Till detta kommer den icke till kommunala vattentäkter anslutna befolkningen som till övervägande del försörjs genom egna brunnar.

Av bl a ovan nämnda förhållanden följer att kunskapen om var man kan finna grundvatten, hur det rör sig i olika geologiska bildningar och formationer, dess kemiska beskaffenhet etc är av största betydelse för ett rationellt utnyttjande av denna resurs. Det vanligaste sättet att redovisa dessa är genom hydrogeologiska kartor. I Sverige började författaren, då anställd vid Sveriges Geologiska Undersökning, år 1969 att utveckla sådana kartor. En försöksserie omfattande fyra kartor i skalan 1:50 000 i området kring Örebro påbörjades varvid som underlag användes den vanliga geologiska kartan över samma område. Författaren ansvarade för uppläggningen och genomförandet av såväl själva fältarbetet som de färdiga kartorna och beskrivningarna. Som medhjälpare och författare för vissa avsnitt har C-F Müllern (berggrundens hydrogeologiska förhållanden) och P Engqvist (vattnets kemiska beskaffenhet) medverkat. P Bengtsson och B Järnefors medverkade och rapporterade om vissa speciella förhållanden i två av kartbladen. Försöksserien avslutades 1974 och omfattade följande kartblad:

1. *Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., Bengtsson, P., 1971: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SV. — Sver. Geol. Unders. Ag 1.*
2. *Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1971: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NV. — Sver. Geol. Unders. Ag. 3.*
3. *Möller, Å., Järnefors, B., Enqvist, P., Müllern, C-F., 1974: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NO. — Sver. Geol. Unders. Ag. 2.*
4. *Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C-F., 1974: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SO. — Sver. Geol. Unders. Ag. 5.*

I denna uppsats redogörs först för vissa betydelsefulla synpunkter och förhållanden som utgör grunden för hydrogeologiska kartor. Därefter redovisas de erfarenheter beträffande de fyra testkartornas uppläggning, innehåll, redovisningsteknik, noggrannhet etc som framkom under arbetet. För att ge läsaren en bättre möjlighet att bedöma resultaten lämnas även en kort översikt över hur motsvarande problematik har angripits i några andra europeiska länder samt de hydrogeologiska karttyper som har kommit fram. Artikeln avslutas med att presentera olika förslag till hur framtida svenska hydrogeologiska kartor lämpligen bör utformas.

Hydrogeologiska kartor

Ändamål med karttypen

Ändamålet med hydrogeologiska kartor är att, om möjligt på tredimensionellt sätt, redovisa förekomsten och utbredningen av olika geologiska bildningar och formationer med avseende på deras hydrogeologiska egenskaper, dvs deras förmåga att förvara, och tjänstgöra som transporterande medium för, grundvatten. Kartorna skall innehålla sådan information att de kan ligga till grund för beräkning av de olika bildningarnas eller formationernas grundvattenpotential. Om så behövs kan huvudkartan kompletteras med detaljkartor, profiler eller annan information som är av intresse för att belysa en eller flera speciella situationer. Denna information bör om möjligt tryckas i marginalen på huvudkartan.

Viktiga problemställningar

En av de mest väsentliga frågorna i samband med hydrogeologiska kartor är: för vem görs kartan och för vilket ändamål? Svaret på denna fråga styr till största delen såväl val av kartskala som den mängd och typ av information som kartan skall innehålla. Vanligen används skalan 1:2 000, 1:5 000 eller 1:10 000 om mycken och detaljerad information krävs medan skalan 1:50 000 eller mindre används vid översiktskartor.

Vid fastställande av lämpliga karttyper för hydrogeologiska kartor är det därför nödvändigt att veta vilka de huvudsakliga avnämarna av denna karttyp är samt vilken information dessa önskar. Med hänsyn härtill samt de ekonomiska och personella resurser som finns tillgängliga kan problemet penetreras och lämpliga karttyper diskuteras.

Av stor vikt är även att den geologiska basinformation som ligger till grund för de hydrogeologiska kartorna är så fullständig som möjligt. Stora krav måste därför ställas på att produktionen av geologiska kartor är ändamålsenlig och så mycket som möjligt uppfyller dessa krav.

Internationella kartsymboler för hydrogeologiska kartor

Genom samarbete mellan olika internationella organisationer verksamma inom det hydrogeologiska arbetsfältet och olika FN-organisationer, framför allt UNESCO, utgavs 1970 ett förslag till hur hydrogeologiska kartor borde utföras samt vilka tecken, symboler, färger etc som borde användas. Av olika skäl användes inte dessa vid utförandet av de fyra provkartorna i Örebroområdet. De i slutet

på denna artikel redovisade förslagen på framtida kartor är emellertid baserade på det av UNESCO rekommenderade utförandet. På grund av utrymmesskäl redovisas här inte de olika detaljerna i UNESCO's rekommendationer, utan läsaren hänvisas till den engelska textdelen i denna artikel eller till själva publikationen (UNESCO, 1970).

Hydrogeologisk kartering i Norge, Finland, Danmark, Ungern och Västtyskland

För att läsaren bättre skall förstå den utveckling och de faktorer som påverkat utvecklingen av hydrogeologiska kartor i Sverige lämnas i detta kapitel en kortfattad redovisning av utvecklingen av denna karttyp i länderna Norge, Finland, Danmark, Ungern och Västtyskland. Att just dessa länder valts beror på att de har olika geologi samt att de av olika skäl kommit olika långt i utvecklingen av hydrogeologiska kartor. I Sverige såväl som i Norge, Finland och Danmark, utgör de kvartära avlagringarna de främsta grundvattenförande formationerna medan situationen i Tyskland och Ungern är mer komplex. För varje land lämnas först en kort beskrivning av de geologiska baskartor som f n produceras och som i vissa fall ligger till grund för de hydrogeologiska kartorna. Därefter beskrivs de hydrogeologiska kartorna och något av den utveckling som ligger bakom dessa.

Tyvärr har de redovisade exemplen på kartor från de olika länderna av ekonomiska skäl måst återges i svart-vitt och inte i färg. Då mycket av kartinnehållet baserar sig på färger blir reproduktionen givetvis mycket enklare och innehållslösare än originalet. De bör dock ge läsaren en viss uppfattning om situationen och kartans uppläggning och innehåll.

Norge

Den vanliga geologiska kartan är i skalan 1:50 000. I samband med fältarbeten använder man sig både av provborrning och seismiska undersökningar för bestämning av viktiga geologiska gränser eller djupet av olika formationer eller bildningar. Läget av dessa undersökningar redovisas på kartan. Där borrning utförts anges resultatet av denna. Fördelningen av de olika bildningarna visas med olika färger och tecken. Kartan utgör ett bra underlag för hydrogeologiska arbeten. Som exempel på denna karttyp visas på Fig 1 en del av kartbladet *Alta*, 1834 I, 1:50 000.

För en mer detaljerad redovisning av de kvartära avlagringarna är en karttyp med skalan 1:20 000 under utveckling. Där så är möjligt redovisar man här sammansättning och fördelning av de olika jordarterna ner till ca 5–10 m djup. På kartan anges även avståndet mellan markyta och grundvattenyta på enstaka platser. Ett exempel på denna karta är *Gardermoen*, CQR 051052–20, M 1:20 000. Den redovisas emellertid inte här.

Vid utvecklingen av hydrogeologiska kartor har man valt att inte i detta skede bygga vidare på de existerande geologiska kartorna utan för att spara tid i stället börja med enkla översiktskartor i skalan 1:250 000, så kallade vattenresurskartor. Dessa kartor trycks i svart-vitt och visar de områden som man tror kan vara av intresse för grundvattenutvinning. Någon ytterligare utvärdering av förhållandena görs ej. Fältarbetet omfattar bara okulär besiktning och några borrningar o dyl görs ej. Grundvattenförhållandet i berggrunden beaktas ej. På Fig 2 redovisas en del av en sådan karta (*Arendal*, No. 32–5, 1:250 000).

Sedan 1976 utges en liknande karta men i skala 1:50 000. Kartan är mer detaljrik och är baserad på mer intensiva fältstudier omfattande bl a borrningar och seismik. Kartan trycks i svart-vitt. På grund av de större kostnader som denna karttyp medför karteras bara särskilt viktiga områden (Huseby, 1976).

För redovisning av grundvattenförhållandena i berggrunden har framtagits en helt ny karttyp i skala 1:50 000. På Fig 3 redovisas en del av försöksbladet *Bergen*, NGU No. 1115 I (Ellingsen, 1975). Kartan visar bl a olika bergarter, tektoniska förhållanden (förkastningar, sprickzoner o dyl) samt läget av brunnar och dessas kapacitet. Då denna karttyp kräver en relativt stor arbetsinsats och stort antal brunnar med känd kapacitet kan den bara tas fram för särskilda områden.

Finland

Den geologiska baskartan i Finland är i skala 1:100 000. Specialkartor i 1:20 000 är f n under utveckling. I samband med fältarbeten används ofta borrningar och seismiska undersökningar, speciellt när det gäller att bestämma utsträckning och mäktighet av glaciofluviala avlagringar. Av särskilt intresse är att inom områden där den dominerande jordarten är överlagrad av annan jordart detta förhållande anges med särskilda symboler. Den överlagrande jordarten är då vanligen mindre än 1 m mäktig (Hyyppä, J., 1977, pers. komm).

Några särskilda hydrogeologiska karttyper finns inte. På försökskartorna i skala 1:20 000 anges dock läget av brunnar och grundvattenytans nivå i dessa samt källor och medelflödet från dessa.

På Fig 4 visas en del av den geologiska kartan No. 1134 *Kokemäki* från 1974 i skala 1:100 000 och på Fig 5 en del av försökskartan No. 213211 i skala 1:20 000. Denna senare karta saknar namn.

Danmark

Den vanliga geologiska kartan över Danmark använder skalan 1:100 000 och visar jordlagerförhållandena till ca 1 m djup under markytan. Kartan är huvudsakligen baserad på okulär bedömning samt enstaka borrningar till mellan 2 och 10 m djup (Nielsen, A.V., 1977, pers komm).

Beträffande hydrogeologiska kartor är situationen i Danmark ganska speciell. Landets befolkning är till största delen beroende av grundvatten. Detta har medfört att man redan 1926 införde registreringsskyldighet av brunnar, med angivande av bl a läge, jordlagerförhållanden och kapacitet. (I Sverige gäller samma förhållande från 1975.) För närvarande finns registrerat ca 135 000 brunnar. Dessa brunnar redovisas på särskilda s k bas-data kartor med användande av den 1973 utvecklade cyklogram-metoden (Andersen, 1973). Från dessa bas-data kartor kan vid behov olika typer av hydrogeologiska kartor relativt lätt

framställas över områden av intresse. Av denna anledning utges inga reguljära hydrogeologiska kartor utan bas-datakartorna kompletteras i stället successivt. På Fig 6 redovisas en del av bas-datakartan No. 1216 III, *Farsö*.

Ungern

De geologiska och hydrogeologiska förhållandena i Ungern är mycket olika förhållandena i Sverige. Man är även mer beroende av grundvatten för vattenförsörjningen än i Sverige. Av bl a denna anledning har utvecklingen av inte bara hydrogeologiska utan även andra geologiska specialkartor länge varit föremål för stort intresse från myndigheternas sida. För att belysa situationen redovisas här översiktligt det material som ingår i den geologiska atlasen över den ungerska centralplatån (The Geological Atlas of the Great Hungarian Plain; Andras, 1975). Denna kartserie påbörjades 1964.

Kartan omfattar ca 1 500 km^2 och kartskalan är 1:100 000 och 1:200 000. Omkring 600–700 borrhål till 10 m djup utförs för insamling av geologiskt bas-datamaterial per blad. Grundvattenytan i brunnar o dyl uppmäts och i särskilda fall görs provborrningar till större djup. Följande kartor ingår (samt beskrivs ingående i text-delen):

1. Läget av undersöknings- och andra borrningar
2. Geologi
   - 2.1 Ytgeologiska förhållanden samt profiler
   - 2.2 Litologisk beskrivning av undersökningsborrningarna
3. Agrogeologiska kartor
   - 3.1 $CaCO_3$-innehållet på 0.4–0.5 m djup
   - 3.2 Permeabiliteten på 0.4–0.5 m djup
4. Ingenjörsgeologiska kartor
   - 4.1 Geologin på 2.5 och 10 m djup
   - 4.2 Typiska ingenjörsgeologiska distrikt/områden
5. Hydrogeologiska kartor
   - 5.1 Grundvattennivån i grunda hål/borrningar
   - 5.2 Grundvattenytans hydrostatiska nivå samt diagram över grundvattenytans nivåförändring under flerårsperioder
   - 5.3 Grundvattenytans nivå i m ö.h. samt grundvattenytans nivå i borrhål och ytmorfologi
   - 5.4 Porvattentryck i relation till grundvattenytan
   - 5.5 Halt av lösta ämnen i grundvattnet, specialkartor över hårdhet och alkalinitet
   - 5.6 Djupet eller mäktigheten av den bästa akviferen inom 500 m från markytan samt specialkartor visande trycket i djupa akviferer och grundvattnets temperatur
6. Geologiska förhållanden under markytan
   - 6.1 Tjockleken av de kvartära avlagringarna
   - 6.2 Karta visande gränsen mellan undre- och övre Pannonian
   - 6.3 Basen av Pannonian-bassängen
7. Ekonomisk-geologiska specialkartor
   - 7.1 Mineralförekomster och viktiga artesiska brunnar (mineralvatten-termalt vatten)

Den vikt man fäster vid att allsidigt och ingående dokumentera de geologiska förhållandena framgår tydligt av ovanstående kartförteckning.

Några exempel, tyvärr i svart-vitt, redovisas på Fig 7a–7e.

Västtyskland

Den vanligaste kartskalan för geologiska kartor är 1:25 000. Stor vikt fästs vid ingenjörsgeologiska och hydrogeologiska förhållanden. Mellan 4 och 5 borrningar till ca 2 m djup utförs inom varje kvadratkilometer för bestämning av jordarterna medan grundvattenytan beläggs genom brunnsinventering o dyl. Profiler används ofta för att klargöra förhållandena. Ett exempel på denna karttyp redovisas på Fig 8a–8b (Geologisk karta över Nieder Sachsen, No. 3525 *Grossburgwedel*).

Omkring 1975 utvecklades så kallade profilkartor (Mengeling och Vinken, 1975) genom vilka lagerföljden, särskilt inom områden med horisontellt lagrade formationer, enkelt kan redovisas. Kartan trycks i svart-vitt vilket gör den relativt billig. Ett exempel på denna karttyp redovisas på Fig 9a–9b (Profilkarta No. 3425 *Führberg*).

Hydrogeologiska kartor av olika typer och utseende har utvecklats vanligen användande skalan 1:50 000. Som ett utmärkt exempel på en modärn hydrogeologisk karta kan den över Paderborn i Nordrhein-Westfalen tjäna (Koch, Michel, Vogel, 1971). Kartan består av två delar, den ena visar de litologiska förhållandena samt en uppdelning av de olika formationerna eller bildningarna med hänsyn till deras hydrogeologiska egenskaper. Man redovisar även viktigare brunnar, källor, yt- och grundvattendelare etc. Den andra kartdelen redovisar skyddsområden kring olika vattentäkter, avfallsanläggningar, olje-bensintankar o dyl. På Fig 10a–10b redovisas delar av dessa kartor.

Hydrogeologisk kartering i Sverige

Behovet av hydrogeologiska kartor

Som nämndes i inledningen är en stor del av den kommunala och privata (exklusive större industrier) vattenförbrukningen baserad på grundvatten. Kunskapen om i vilka geologiska formationer och bildningar grundvatten ekonomiskt kan utvinnas, hur det rör sig, dess beskaffenhet etc är därför av stort intresse.

I en undersökning som utfördes 1976 vid Sveriges Geologiska Undersökning och som vände sig till länstyrelserna framkom att man där kände ett stort behov av hydrogeologiska kartor. Vad man främst önskade var relativt detaljrika kartor i skala 1:50 000. Då man emellertid insåg att SGU i det rådande ekonomiska läget inte på långa vägar kunde tillgodose behovet av sådana kartor ansåg man det då bättre att mindre detaljerade översiktskartor i skala 1:250 000 togs fram i stället. Samma principiella inställning har författaren även mött i samband med kontakter med andra statliga och kommunala myndigheter.

Förekomst av grundvatten i Sverige

Grundvatten förekommer i de flesta geologiska bildningar och formationer i vårt land. Det är emellertid främst ur de

sand- och grusåsar som bildats i samband med den senaste landisens avsmältning som större mängder grundvatten kan utvinnas. Detta sammanhänger med att dessa jordarter har en mycket högre porositet och vattengenomsläpplighet (permeabilitet) än andra jordarter t ex morän och lera.

Grundvattenuttag från brunnar i berggrunden är vanligen mycket mer begränsat beroende på berggrundens mycket låga porositet och vattengenomsläpplighet. Detta gäller främst brunnar i urberget. Vattenuttaget per brunn är här vanligen mellan 0,2 till 0,4 l/s. Dessa kapaciteter anger emellertid inte den totala uttagbara vattenmängden inom ett visst område. Denna beror ju även på nederbörds- och infiltrationsförhållanden etc. Vid brunnar i sedimentära bergarter är kapaciteterna vanligen högre, ca 1 till 2 l/s. Förhållandena varierar emellertid mycket från plats till plats beroende på de lokala förhållandena i nederbörd, topografi, tektonik etc. Förhållandena inom de fyra kartområdena som ingått i provserien redovisas utförligt i de till dessa kartor hörande kartbladsbeskrivningarna (Möller, Engqvist, Müllern, Bengtsson, 1971; Möller, Engqvist, Müllern, 1971; Möller, Järnefors, Engqvist, Müllern, 1974; Möller, Engqvist, Müllern, 1974).

Redogörelse för den hydrogeologiska kartserien inom Örebroområdet, resultat och slutsatser

Kartserien påbörjades 1969 av författaren. Som baskartor har använts de geologiska kartbladen i Ae-serien (Fromm, 1972, Ae 5; Magnusson, 1970, Ae 6; Magnusson, Gorbatschev, 1972, Ae 7; Magnusson, Lundegårdh, 1972, Ae 8). Den hydrogeologiska kartserien fick beteckningen Ag och motsvarande kartor fick numren Ag 1, 2, 3 och 5.

För att hålla nere kostnaderna beslöts att de geologiska kartorna i Ae-serien skulle utgöra det underlag på vilken den hydrogeologiska informationen skulle föras. Detta förfarande reducerade emellertid kraftigt denna information då metoden starkt begränsade antalet möjliga symboler och färger. En fördel var dock att ytgeologin visades i stor detaljrikedom. Ett exempel på denna karttyp, här visad i svart-vitt, redovisas på Fig 11.

Några synpunkter på de geologiska kartornas användbarhet i samband med hydrogeologiska arbeten

För att bättre förstå utvecklingen av de olika hydrogeologiska karttyperna är det nödvändigt att kort beskriva de geologiska kartor som utgör grunden för de hydrogeologiska. Tre olika huvudserier av kartor finns, Aa, Ae och Af. Aa-serien utkom mellan 1862 och 1965 och är en kombinerad jordarts- och berggrundskarta. Ae-serien tillkom 1964 och är huvudsakligen en jordartskarta. Berggrundskartor tillhör Af-serien som startade 1967. Som grund för hydrogeologiska arbeten är Ae- och Af-serierna f n de lämpligaste.

Jordartskartorna i Ae-serien är konventionella geologiska kartor som på ett tvådimensionellt sätt anger utbredningen av olika jordarter. Kartan visar förhållandet ner till ca 0.5 m under markytan. Angivelser eller beteckningar som indikerar en mot djupet växlande jordlagerföljd används ej. Detta medför en allvarlig begränsning i kartans användningsmöjligheter såväl vid hydrogeologiska problem som vid byggnadstekniska eller andra ingenjörsgeologiska problem.

Af-serien redovisar de i berggrunden ingående olika bergarterna och dessas utbredning samt mer markerade sprick- och förkastningszoner o dyl. Under senare tid har även utvecklats karttyper som redovisar variationerna i berggrundens magnetism, radioaktiva strålning (och dennas sammansättning) samt geoelektriska förhållanden. Även detaljerade sprickkartor ingår nu oftast i den reguljära karteringen. Särskilt sprickkartan borde vara av stort intresse i hydrogeologiska sammanhang. Tyvärr gör man emellertid på denna ingen åtskillnad mellan olika typer av sprickor som t ex skjuvsprickor och tensionssprickor. Det är stor skillnad mellan dessa spricksystem när det gäller vattengenomsläpplighet.

Hydrogeologisk information redovisad på försökseriens kartor

Förhållandet att de geologiska kartorna i Ae-serien skulle utgöra det kartunderlag på vilken den hydrogeologiska informationen skulle tryckas, begränsade denna information starkt i såväl mängd som art. Sådana parametrar som porositet, permeabilitet, mäktighet av de vattenförande formationerna etc kunde inte redovisas på det sätt som rekommenderas av UNESCO. Detta hade nämligen bort ske genom påtryck av ytterligare symboler i form av heltäckande färger, något som var omöjligt pga den detaljrika och färgrika geologiska baskartan. Av denna anledning fastställdes att bara sådan information som kunde anges med enkla och inte täckande symboler skulle beaktas. Följande parametrar kom av denna anledning att redovisas: a) grundvattendelare, b) källor, c) grundvattnets huvudsakliga flödesriktning, d) grundvattennivån och e) viktiga kommunala grundvattentäkter. Även skyddsområden tillkom på de senaste två kartorna.

Beträffande grundvattenförhållandena i berggrunden, vanligen gällande det kristallina urberget, redovisades följande parametrar: a) brunnens läge, b) brunnens djup, c) brunnens kapacitet, d) vattnets kemiska beskaffenhet (klorid, järn, mangan, hårdhet och aggresivitet). Även sprickor, förkastningar o dyl av intresse ur hydrogeologisk synpunkt redovisades där så var möjligt. Ett exempel på denna karttyp redovisas, tyvärr bara i svart-vitt, på Fig 11.

Fältarbete

På grund av att de geologiska kartorna endast anger förhållandena vid markytan utgjordes huvuddelen av fältarbetet av undersökningsborrningar av olika slag. Bl a undersöktes sand- och grusåsarnas mäktighet, förekomsten av eventuella vattenförande jordlager under lera o dyl. För bestämning av grundvattnets flödesriktning och läget av grundvattendelare utfördes en omsorgsfull mätning av grundvattenytorna i ett flertal brunnar längs sand- och grusåsarna. Grundvattenytan i brunnar nedförda i morän eller lerjordar uppmättes ej. Vattenprover togs och dess kemiska beskaffenhet undersöktes.

Fältarbetet planerades och leddes av författaren som till sin hjälp vanligen hade två geologer samt 4—5 extrageolo-

ger under sommarmånaderna. För borrningsarbetet användes fast anställd personal. Ca en och en halv fältsäsong var nödvändig för insamling och bearbetning av nödvändig information.

Resultat och slutsatser

De viktigaste synpunkterna och slutsatserna som framkom genom arbetet med de hydrogeologiska kartorna inom Örebroområdet kan översiktligt sammanfattas i följande punkter:

1. Redovisningsmetoden och kartinnehållet avvek till stor del från internationellt vedertagna normer. Detta var en följd av att använda den geologiska kartan som baskarta och trycka den hydrogeologiska informationen på denna karta. Redovisningen av en del viktiga hydrogeologiska och geohydrologiska faktorer omöjliggjordes av denna anledning då symbolerna för dessa skulle ha dränkts i den färgrika bakgrund som den geologiska kartan utgör.

2. Undersökningar av moränjordarnas vattenförande förmåga ingick i kartarbetet. Framför allt undersöktes kapaciteten hos brunnar och hur denna var beroende av bl a topografiska förhållanden. Resultatet var en bättre förståelse av de geohydrologiska förhållanden som reglerar vattenomsättningen i denna jordart. Det rekommenderas att undersökningar av detta slag utförs även i framtiden.

3. Förekomsten och utbredningen av vattengenomsläppliga jordarter inom områden där ytjordarten är lera, är av stort intresse. Det är inte ovanligt att mindre samhällen, gårdar o d kan trygga sin vattenförsörjning från sådana bildningar. Förekomsten av dessa kartläggs normalt inte i samband med fältarbetet med den vanliga geologiska kartan p g a den kostnad detta skulle medföra. Inom vissa områden, där detta förhållande skulle vara av särskild betydelse, bör man dock rekommendera att viss provborrning utförs för fastläggande av om sådana jordlagerförhållanden föreligger.

4. Grundvattennivån i de undersökta brunnarna bestämdes genom avvägning med instrument med en noggrannhet av 0,05 m och den på kartorna angivna grundvattennivån är angiven med 0,2 m noggrannhet. Bestämningen av dessa nivåer tog cirka 60—70 % av den totala fältarbetstiden. Det framkom snart att denna noggrannhet i detta sammanhang var överdrivet stor och alltför tidskrävande. I stället utvecklades metoder för användande av känsliga barometrar, s k altimetrar. Noggrannheten med dessa befanns vara cirka 0,5 m. Denna noggrannhet måste anses tillräcklig vid arbeten i kartskalan 1:50 000 eller mindre.

5. De källor som redovisas på de geologiska kartorna i Ae-serien befanns ofta vara små med under året starkt varierande vattenflöden. Samtidigt redovisades vanligen inte de mycket större källsprång som oftast förekommer där t ex åssystemen skär ytvattendrag.

6. En av de viktigaste slutsatserna är den stora vikt man måste fästa vid att de geologiska kartorna ger så mycket information som möjligt beträffande olika jordarter och bildningars vertikala utbredning. Detta är utomordentligt viktigt inte bara i samband med hydrogeologiska problem utan även i många ingenjörsgeologiska arbeten. Av särskilt intresse är att kartorna anger områden där mer betydande förekomster av sand och grus förekommer under andra jordarter, vanligen lera.

Förslag till framtida hydrogeologiska karttyper i Sverige

Baserad på den erfarenhet som insamlats genom arbetet med de hydrogeologiska kartbladen i Örebrotrakten påbörjades inom Sveriges Geologiska Undersökning år 1976 en utredning av hur framtida hydrogeologiska kartor borde se ut. Arbetet utfördes av författaren, då anställd vid detta verk, tillsammans med en referensgrupp av geologer. Arbetet koncentrerades till två kartmodeller, en i skalan 1:50 000 och en i skalan 1:250 000. Den senare modellen var av speciellt intresse då man med en karta i denna skala mycket snabbare skulle kunna ge en översikt (om även inte så detaljerad som vore önskvärt) av större delar av landet än vad som är möjligt med enbart kartor i 1:50 000 skala.

I början av 1977 var ett provtryck av de bägge kartförslagen färdigt. Beträffande kartförslaget i skalan 1:50 000 redovisas här de hydrogeologiska förhållandena i såväl jordlagren som berggrunden tillsammans på en och samma karta. Som alternativ till detta har författaren utarbetat ett principförslag där de hydrogeologiska förhållandena i jordlagren och berggrunden redovisas på separata kartblad.

De ovan nämnda kartalternativen redovisas nedan.

Förslag till hydrogeologiska karttyper i skalan 1:50 000

Allmänna synpunkter. — De geologiska formationer eller bildningar som är av primärt intresse för utvinning av grundvatten är våra glaciofluviala bildningar, främst sand- och grusåsarna. Då dessa vanligen har en starkt varierande uppbyggnad inom relativt närbelägna punkter måste en redovisning av det hydrogeologiska systemets vattenförande förmåga, som i internationell praxis vanligen redovisas som formationens transmissivitet, inte vara särskilt lämplig. Denna redovisningsmetod skulle även kräva mycket stora ekonomiska insatser då denna parameter bör bestämmas genom provpumpningar. Vid jämförelse av metodens lämplighet måste man betänka att man här vanligen har att göra med grundvattenförande system av helt annan uppbyggnad och utbredning än vad som gäller våra sand- och grusåsar. En annan och för svenska förhållanden mer lämpad redovisningsmetodik bör därför användas. Den mest lämpliga lösningen för bestämning av ett grundvattensystems potential (totala vattentillgång) bör, när det gäller sand- och grusåsar, baseras på en analys och syntes av de delfaktorer som påverkar denna, nämligen dess geografiska utsträckning, dess geologiska uppbyggnad och sammansättning, infiltrationsområdets storlek, nederbörds- och avdunstningsförhållanden samt inte minst vilka praktiska uttagsmöjligheter som föreligger. Går det t ex att utföra filterbrunnar med hög kapacitet eller måste uttagen spridas på många brunnar med lägre enskild kapacitet?

Samma principiella synpunkter kan användas beträffande redovisning av grundvattensituationen i berggrunden. Spricksystemen uppträder vanligen mycket oregelbundet och den vattenförande förmågan varierar även starkt inom varje enskild spricka. Ett lämpligt sätt att redovisa vattentillgången (eller snarare möjligheten att utvinna grundvatten) är att t ex ange den genomsnittliga kapaciteten hos brunnar i olika berggrundstyper. Man bör härvid

använda sig av medianvärdet snarare än det aritmetiska medelvärdet då man vid den förra metoden mer tar hänsyn till den stora spridningen i de enskilda kapacitetsvärdena än vad som blir fallet vid den senare.

De presenterade kartförslagen följer vad beträffar innehåll och uppläggning, symboler etc så mycket som möjligt UNESCO's rekommendationer. Vid speciella situationer kan givetvis ytterligare symboler eller beteckningar användas. Kartförslagen är utarbetade för ett delområde inom det hydrogeologiska kartbladet Ag 3. Direkt jämförelse med denna karttyp och de nya kartförslagen kan därför lätt göras.

Modell Nr 1a och b. — I detta kartförslag redovisas de hydrogeologiska förhållandena i jordlagren och berggrunden på separata kartblad. De presenteras på kartplansch 1 och 2 (*Map* 1 och *Map* 2).

På kartplansch 1 redovisas de hydrogeologiska förhållandena i jordlagren. Alla kända sand- och grusförekomster redovisas med uppdelning i två klasser — den första där jordlagren består av en blandning av sten, grus och sand — den andra där jordlagren i huvudsak utgörs av sand. Den bedömda grundvattentillgången för varje akvifersystem anges med olika heltäckande nyanser i blått och brunt. Tre nyanser av blått används för de områden som är av intresse. Den bruna färgen (bara en nyans används) betecknar sådana områden eller formationer där grundvattentillgången är så liten att den i princip saknar intresse. Det måste emellertid framhållas att inom de områden som betecknats med brun färg kan vanligen tillräckligt med grundvatten erhållas för enskilda hushåll. Områdena saknar dock principiellt intresse ur kommunal vattenförsörjningssynpunkt.

I samband med utförandet av hydrogeologiska kartor i skalan 1:50 000 är det inte möjligt att vid bestämning av en akvifers grundvattenpotential alltid beakta de ekonomiska och praktiska aspekter som oftast måste kopplas med denna. D v s det är inte alltid ekonomiskt möjligt att utnyttja den totala potentialen på grund av t ex långa ledningssträckor o dyl. De på kartorna angivna potentialerna tar inte hänsyn till detta då dessa så att säga yttre faktorer kan variera från tid till annan och även mellan olika intressenter.

Följande uppdelning i olika tillgångs- eller potentialgrupper föreslås gälla för naturliga grundvattentillgångar (sett som årsmedelvärde):

1. Med mycket stor grundvattentillgång och med mycket goda uttagsmöjligheter menas att den totalt uttagbara vattenmängden skall överstiga 5 000 m^3/d, betecknas med mörkblå färg.

2. Med stor grundvattentillgång och mycket goda till goda uttagsmöjligheter menas att vattentillgången ligger mellan 5 000 och 1 000 m^3/d, betecknas med mellanblå färg.

3. Med måttlig till stor grundvattentillgång men med begränsade uttagsmöjligheter menas att vattentillgången är mellan 1 000 och 100 m^3/d, betecknas med ljusblå färg.

4. Övriga områden där grundvattentillgången är mindre än 100 m^3/d, betecknas med ljusbrun färg.

Ytterligare information t ex markering av områden där grundvattenförande formationer förekommer under icke vattenförande jordlager kan anges med streckade linjer med användande av motsvarande färger enligt ovan givna intervall. Andra faktorer av hydrogeologiskt intresse, t ex läget av grundvattendelare, grundvattnets rörelseriktning, källor, läget av viktiga brunnar, provborrningar, infiltrationsanläggningar, skyddsområdesgränser, deponeringsanläggningar o dyl bör anges.

Möjligheten till förstärkning av den naturliga grundvattenmängden med konstgjord infiltration är svår att beakta under arbete med kartskalan 1:50 000. Detta är annars en mycket viktig faktor att ta hänsyn till. Problemet är lättare att behandla vid kartor i större skala t ex 1:10 000.

Kartförslaget gällande redovisning av grundvattenförhållandena i berggrunden presenteras på kartplansch 2 (*Map* 2). Beroende på att berggrunden i Sverige till största delen består av urberg (granit, gnejs) har kartinnehållet och redovisningstekniken anpassats till detta förhållande. Som tidigare nämnts är det meningslöst att i detta sammanhang ange den hydrogeologiska situationen med parametrar som permeabilitet och porositet p g a berggrundens vanligen mycket heterogena struktur. Ett för praktiska ändamål bättre sätt är att redovisa den vattenmängd som den genomsnittliga brunnen inom ett visst bergartsområde lämnar. Inom det här redovisade området har fyra kapacitetsintervall (sett som årsmedeltal) funnits vara lämpliga och möjliga nämligen:

kapaciteten överstiger 6 000 l/h

kapaciteten är mellan 6 000 och 2 000 l/h

kapaciteten är mellan 2 000 och 600 l/h

kapaciteten understiger 600 l/h

Enligt internationell praxis används för de första tre intervallerna olika nyanser i grön färg, det fjärde intervallet betecknas med samma ljusbruna färg som används vid jordarter utan egentlig grundvattenpotential.

Förkastningar, sprickor och andra hydrogeologiskt betydelsefulla bildningar eller strukturer redovisas givetvis liksom grundvattnets rörelseriktning där så är möjligt. Även brunnar, vattentäkter, skyddsområden, deponeringsanläggningar o dyl bör redovisas.

Vattnets kemiska beskaffenhet (kvalitet) bör anges där så är befogat. Detta kan enkelt göras med användande av de symboler som anges i UNESCO's rekommendation.

Modell nr 2. — I detta kartförslag, som tagits fram av författaren tillsammans med en referensgrupp av geologer vid Sveriges Geologiska Undersökning, redovisas de hydrogeologiska förhållandena i såväl jordarter som berggrund på ett och samma kartblad. En fördel med denna kartmodell är att endast ett kartblad behövs med bl a minskade tryckkostnader som följd. En annan fördel är att ett eventuellt samband mellan grundvattensituationen i jordlagren och berggrunden kan redovisas. Som nackdel bör betraktas att bara de sand- och grusförekomster som är av direkt intresse ur grundvattensynpunkt har redovisats. Det hade, enligt författarens mening, varit bättre för att förtydliga situationen om istället alla sand- och grusförekomster redovisats. Man låter sedan färgen indikera hur värdefull eller intressant den aktuella förekomsten är (*Map* 3).

En större svaghet, än ovan nämnda förhållande, är att man i detta kartförslag utelämnat kapacitetsvärdena för de olika intervallen. Då t ex en stor grundvattentillgång i högsta grad är ett mycket relativt begrepp för de flesta

människor blir den situation som kartan anger mycket oklar. Flertalet av referensgruppens medlemmar ansåg det dock i de flesta fall var svårt att tillräckligt noga, utan mer omfattande undersökningar, bestämma grundvattentillgången. Författaren delar inte helt denna uppfattning.

Förslag till hydrogeologisk karta i skalan 1:250 000

Modell nr 3. Allmänna synpunkter. — Även denna karttyp, som redovisas på kartplansch 4 (*Map* 4), har utarbetats av författaren och en referensgrupp av geologer vid Sveriges Geologiska Undersökning. Avsikten med karttypen är att den skall ge en översiktlig bild av grundvattentillgångarna i jordlagren (med tyngdpunkt på sand- och grusåsarna) och berggrunden. I princip har samma redovisningsteknik som vid modell nr 2 använts, d v s formationens eller bildningens bedömda grundvattenpotential redovisas. Kartskalan medför emellertid att vissa andra hydrogeologiska parametrar av intresse som t ex grundvattnets rörelseriktning och viktiga brunnar blir svåra att ange. I samband med kartans översiktliga karaktär torde dock detta förhållande inte spela någon större roll.

Beträffande berggrundens hydrogeologiska förhållanden redovisas denna genom angivande av brunnarnas mediankapacitet. Typen av berggrund redovisas inte då detta ökar kostnaden utan att egentligen ge något nytt. Detaljerade berggrundsblad finns redan för de flesta delar av landet.

Beskrivning av kartförslaget. — Kartan visar de hydrogeologiska förhållandena kring Västerås, Enköping och Sala. Grundvattentillgången i de olika grundvattensystemen i sand- och grusåsarna är p g a kartskalan uppdelad i tre intervall (mot fyra i kartförslaget i skalan 1:50 000) nämligen

mycket stor grundvattentillgång

stor till måttlig grundvattentillgång

ingen eller mycket liten grundvattentillgång

Det första intervallet betecknas med mellanblå, det andra med ljusblå och det tredje med ljusbrun färg.

Någon kvantifiering av dessa relativa storhetsbegrepp ansåg inte referensgruppen vara möjlig. Där grundvattenförande jordarter förekommer under täta jordarter (t ex lera) anges detta med streckade linjer med användande av lämplig färgintensitet enligt ovan. Områden olämpliga för grundvattenuttag p g a närhet till en deponeringsanläggning, höga kloridhalter o dyl kan redovisas med färgbeteckningar. Kommunala grundvattentäkter med eller utan infiltrationsanläggningar redovisas även. Andra faktorer kan vid behov medtas där så är lämpligt.

Grundvattentillgången i berggrunden redovisas med tre kapacitetsintervall nämligen

6 000 — 2 000 l/h

2 000 — 600 l/h

< 600 l/h

Intervallen kan ändras vid behov och anpassas till de hydrogeologiska förutsättningar som råder inom de aktuella områdena.

Kartan ger en god bild av grundvattensituationen inom framför allt sand- och grusåsarna. En väsentlig nackdel är att man inte kvantifierat kapacitetsintervallen. Läsaren är med denna metod helt utlämnad till sin egen uppfattning om vad som avses. Det borde inte, enligt författarens mening, vara oöverstigligt svårt att bestämma t ex följande kapaciteter utan alltför ingående undersökningar:

mycket stor grundvattentillgång $> 5\,000$ m^3/d

stor till medelstor grundvattentillgång 5 000—1 000 m^3/d

ingen eller obetydlig grundvattentillgång $< 1\,000$ m^3/d

Ovan givna värden är baserade på nyttan av tillgången ur kommunal synpunkt. Andra intervall kan givetvis användas om så befinns vara lämpligt.

Diskussion och slutsatser

Från genomgången av de hydrogeologiska karttyper som utvecklats inom de länder som redovisas i denna uppsats kan några viktiga slutsatser dras. Till de viktigaste hör den effekt som utvecklingen av dessa kartor har haft på vidareutvecklingen av vanliga geologiska kartor. Man fann nämligen på ett tidigt stadium att dessa kartor, som vanligen redovisar den geologiska situationen enbart vid markytan, var alltför otillräckliga för att tjäna som fullgott underlag vid hydrogeologiska arbeten. Visserligen var t ex gränserna mellan och uppdelningen av olika jordarter mycket detaljerad. Detta gällde emellertid endast i horisontell led, några uppgifter om jordlagrens förändring i vertikal led redovisades däremot som regel mycket sällan. Kravet på mer detaljerade och innehållsrika geologiska kartor från inte bara hydrogeologer utan även geologer verksamma med olika ingenjörsgeologiska arbetsuppgifter har medfört att man i de flesta länder nu fäster större vikt än tidigare vid sådan information. Förhållandet kan exemplifieras med de karttyper som utvecklats i t ex Tyskland och Ungern och som redovisats i denna uppsats. Någon motsvarande trend i utvecklingen av mer tredimensionella geologiska kartor tycks inte förekomma här i landet, även om några mycket lovande kartförslag gällande storskaliga ingenjörs- och hydrogeologiska kartor nyligen utvecklats vid den geologiska institutionen vid Chalmers Tekniska Högskola — Göteborgs Universitet (Holmstrand, Wedel, 1977).

Utvecklingen av hydrogeologiska kartor startade relativt sent i Sverige jämfört med många andra länder. Det var först mot slutet av sextiotalet som hydrogeologi som eget ämne eller arbetsfält blev mer erkänt inom Sveriges Geologiska Undersökning. Detta berodde till stor del på de utvecklings- och forskningsarbeten som Internationella Hydrologiska Dekaden då startade och där Sveriges Geologiska Undersökning kom att medverka inom vissa områden. I viss mån torde aktiveringen av hydrogeologin även bero på det ökade krav på sådan information som under denna tid mer och mer framfördes från främst planerare och naturvårdshåll men även byggnadsfirmor, brunnsborrare m fl.

Förhållandena gjorde det möjligt för författaren att 1969 börja med utvecklingen av hydrogeologiska kartor. Dessa kartor mottogs i huvudsak mycket positivt även om de, jämförda med internationell standard, var tämligen enkla. De förslag till nya hydrogeologiska karttyper som presenteras i denna uppsats är i huvudsak baserade på de resultat och erfarenheter som vunnits från dessa första för-

sökskartor. Till de mest väsentliga rekommenderade förbättringarna hör användandet av internationellt accepterade och vedertagna tecken och symboler. Även principen att ange den genomsnittligt uttagbara grundvattenmängden inom de olika grundvattensystemen torde vara en viktig förbättring. Den av författaren föreslagna lösningen på detta senare problem har emellertid erhållit påtagligt negativ kritik. Någon acceptabel alternativ lösning har dock inte presenterats.

Hydrogeologiska kartor bör kompletteras i marginalen med de profiler eller detaljkartor som kan behövas för att förtydliga en viss situation. De bör inte redovisas i en separat kartbladsbeskrivning. En sådan redovisningsteknik höjer avsevärt nyttan och läsbarheten av en karta.

Frågan om man skall redovisa de hydrogeologiska förhållandena i jordlagren och berggrunden på var sin eller på en gemensam karta är inte av fundamental betydelse. Vilken av dessa redovisningsmetoder man väljer kan variera inom olika delar av landet. Separata kartor torde dock vara mest lämpliga i områden med sedimentär berggrund.

Vid hydrogeologiska arbeten är kvaliteten på framför allt det geologiska basmaterialet av största vikt. Geologiska kartor i Sverige är vanligen tvådimensionella, d v s förhållandet i djupled redovisas ej eller mycket schematiskt. Att detta redovisningsförfarande alltjämt är det dominerande när enkla och effektiva borrutrustningar för provborrningar finns att tillgå och då även snabbt arbetande geofysiska undersökningsmetoder finns, är förvånande. Förhållandet kan delvis förklaras med de kostnader dessa metoder medför men till stor del beror nog situationen på en traditionell syn på de geologiska arbetssätten. För att belysa förhållandet kan nämnas att sand- och grusförekomster överlagrade av morän eller lera förekommer på många platser i vårt land. Sådana bildningar kan ofta vara av stort intresse i samband med grundvattenutvinning eller som byggnadsmaterial. Förekomsten av dessa bildningar kan vanligen förutsägas av en geolog. Det är då anmärkningsvärt att de inte redovisas på de geologiska kartorna, främst av den anledningen att en icke-geolog "svårligen förstår situationen". Som följd av detta förhållande rekommenderar författaren att större vikt fästs vid problemet vid utarbetandet av framtida geologiska kartor.

Produktionen av hydrogeologiska kartor bör ökas avsevärt för att möta det ökande behovet av hydrogeologisk information. Man bör av tidsskäl främst inrikta sig på översiktskartor i skalan 1:250 000. Mer detaljerade kartor i skalan 1:50 000 kan utföras inom utvalda områden där behov av sådana kartor särskilt föreligger. Det rekommenderas vidare att jordarts- och hydrogeologisk kartering utförs samtidigt, vilket skulle medföra stora vinster av resultat, tidsåtgång och ekonomi.

Framtida hydrogeologiska kartor bör i huvuddrag följa de förslag som presenterats i denna uppsats. Nyttan och värdet av de kartförslag som framtagits av Sveriges Geologiska Undersökning och som presenteras på kartplansch 3 och 4 (*Maps* 3 och 4) kan, enligt författarens mening, starkt förbättras om man kvantifierar de relativa grundvattenmängder som de olika potentialintervallen indikerar.

Department of Quaternary Geology, University of Uppsala, Sweden

The Department issues four series of publications, all available for regular exchange. Institutions interested in exchange may write to the Librarian, Department of Quaternary Geology, University of Uppsala, Box 555, S-751 22 Uppsala, Sweden

Publications of the Institute of Quaternary Geology, University of Uppsala

This series is divided into two sub-series, the *Octavo* and the *Quarto*. All printed publications issued by the Department are collected in the two sub-series. Most of the publications are in English, but there are also some in French, German or Swedish. A list of the published items will be sent on request.

Report Series of the Department of Quaternary Geology, University of Uppsala

This series is mimeographed, and the contributions are generally in Swedish. An English summary is always included in the reports.

Material Documentation Series of the Department of Quaternary Geology, University of Uppsala

Background materials for scientific reports or papers will be published in this mimeographed or offset-printed series when it has been considered that they cannot be included in the report or paper proper. Pollen records, diatom lists, granulometric analyses and levellings are all examples of the kind of information which will be included. The accompanying text will be in English.

The Uppsala Symposium Series

The Department of Quaternary Geology organizes symposia on various topics, and normally there is one symposium each year. There have been Uppsala Symposia on Tills, the Development of the Cultural Landscape, Clays, Diatom Research and "Studying the Past - Predicting the Future" (a joint arrangement with the INQUA Eurosiberian Subcommission for the Study of the Holocene). The normally mimeographed series comprises English abstracts of papers read to the symposia and lists of participants.

STRIAE

Vol. 1 Lindén, A.: Till Petrographical Studies in an Archaean Bedrock Area in Southern Central Sweden. ISBN 91-7388-000-0. ISSN 0345-0074.

Vol. 2 Svantesson, S.-I.: Granulometric and Petrographic Studies of Till in the Cambro-Silurian Area of Gotland, Sweden, and Studies of the Ice Recession in Northern Gotland. ISBN 91-7388-001-9. ISSN 0345-0074.

Vol. 3 Påhlsson, I.: A Standard Pollen Diagram from the Lojsta Area of Central Gotland. ISBN 91-7388-002-7. ISSN 0345-0074.

Vol. 4 Ground-water Studies in Scandinavia: The Uppsala Symposium 1976. ISBN 91-7388-003-5. ISSN 0345-0074.

Vol. 5 Florin, M.-B.: Late-glacial and Pre-boreal Vegetation in Southern Central Sweden. II. Pollen, Spore and Diatom Analyses. ISBN 91-7388-004-3. ISSN 0345-0074.

Vol. 6 Cato, I.: Recent Sedimentological and Geochemical Conditions and Pollution Problems in Two Marine Areas in South-western Sweden. ISBN 91-7388-005-1. ISSN 0345-0074.

Vol. 7 Qvarfort, U.: Some Problems Associated with Exploration Geochemistry in Mining Areas. ISBN 91-7388-006-X. ISSN 0345-0074.

Vol. 8 Nilsson, I.: A Computer registration system for the Early Neolithic material from the Alby fisher-hunter settlement on Öland. In press. ISBN 91-7388-007-8. ISSN 0345-0074.

Vol. 9 Möller, Å.: Hydrogeological mapping in Sweden a study of the present situation and a proposal for future development. ISBN 91-7388-008-6. ISSN 0345-0074.

SOCIETAS UPSALIENSIS PRO GEOLOGIA QUATERNARIA

ISBN 91-7388-008-6
ISSN 0345-0074
Textgruppen i Uppsala AB